

Freie Universität Berlin
Fachbereich Geowissenschaften
Institut für Geographie
Malteserstr. 74-100, 12249 Berlin



Bachelorarbeit

freie wissenschaftliche Arbeit
zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science (B.Sc.)
an dem Institut für Geographie der
Freien Universität Berlin

Erstellt am Alfred-Wegener-Institut Bremerhaven
in der Arbeitsgruppe Bathymetrie und Geodäsie

Vergleichende geostatistische Analyse von ETOPO2v2c-, Gravimetrie- und Fächerecholot-Daten für Fragestellungen zur Bathymetrie und submarine Geomorphologie am Beispiel des Scotia Meeres

Erstprüfer:	Dr. Kai Hartmann
Zweitprüfer:	Prof. Dr. Karl Tilman Rost
Bearbeiter:	Daniel Damaske
	Norderneystr.21
	31303 Burgdorf
	Matrikelnummer 3997543
	6.Fachsemester
	Studiengang: Geographische Wissenschaften
Eingereicht am:	29.07.2008

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mir vor und während meiner Bachelorarbeit geholfen haben, mein Thema von Anfang bis Ende zu verwirklichen.

Zunächst möchte ich mich bei Herrn Dr.-Ing. Schenke und Dr. Norbert Ott vom Alfred-Wegener-Institut (AWI) bedanken, die mir die Möglichkeit gegeben haben diese Arbeit mit den am AWI vorhandenen Ressourcen durchzuführen.

Mein Dank gilt Herrn Dr. Kai Hartmann von der FU Berlin, der meine Arbeit im Rahmen des Bachelor-Studiengangs am Institut für Geographie betreut hat. Außerdem möchte ich bei Herrn Prof. Dr. Karl Tilman Rost bedanken, der sich kurzfristig als Zweiprüfer zur Verfügung gestellt hat.

Ebenfalls möchte ich Prof. Dr. Thomas Jarmer danken, der mir viele wertvolle Hinweise gegeben hat, um mich diesen für mich anfangs komplexen Thema zu widmen.

Meinen ganz besonderen Dank hat Dorothea Graffe, die mir bei vielen generellen bathymetrischen Fragen insbesondere bei ArcGIS-technischen und geodätischen Fragen hilfreich war.

Abschließend muss ich mich bei Ralf Krocke, Jörn Hatzky, Rike Rathlau, Cornelia Heinzl, Fred Niederjasper, Iris Bremer, Rainer Gamnitzer und ganz besonders bei Heinrich Hinze bedanken, die mir während meiner Praktikumszeit am AWI und während der Zeit der Anfertigung immer hilfreich beiseite standen.

Abstract

The seafloor of the world oceans is largely unknown. Detailed measurements of the submarine topography are costly and require a lot of time. Satellite measurements provide a low-cost and fast mean of acquiring the necessary data. However, the satellite-derived bathymetry is of less accuracy. To value the predicted bathymetry regarding the submarine geomorphology and for the bathymetric science, predicted bathymetry (ETOPO2v2c) is compared and correlated to satellite altimetry based gravity data and multibeam echo sounder data from the central Scotia Sea (Antarctica). This is achieved by transferring the raw data with interpolation methods into a raster to apply the statistical analysis “moving window”. The results show that compared to multibeam echo sounder data the predicted bathymetry is not sufficiently accurate to be applied in submarine geomorphology when considering the submarine slope angle. However, geological interpretation can be assisted by comparing multibeam echo sounder data with predicted bathymetry. The correlation of gravity and multibeam echo sounder data provides a relative measure of submarine sediment thickness. Within the scope of this thesis the analyses and discussed topics cannot be fully addressed, but need further comprehensive studies to support its findings to be applied in general bathymetry-related scientific work.

Inhaltsverzeichnis

ABSTRACT	2
INHALTSVERZEICHNIS	3
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5
TABELLENVERZEICHNIS	6
1 EINLEITUNG	7
1.1 Fragestellung	7
2 STAND DER FORSCHUNG	9
2.1 Einführung in die Thematik	9
2.2 Wichtige bathymetrische Datenbanken und Kartenwerke	11
2.2.1 General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)	11
2.2.2 International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO)	11
2.2.3 International Bathymetric Chart of the Southern Ocean (IBSCO)	12
2.3 Gravimetrie-Daten	12
2.3.1 Vermessung der Geoid-Höhe	13
2.4 Etopo2v2-Daten	14
2.4.1 Transformation von Gravimetrie in Topographie	15
2.5 Fächerecholot-Daten für das Scotia Meer	16
2.5.1 Funktionsprinzip eines Fächer(-echolot)	16
2.6 Abhängigkeit zwischen Sedimentmächtigkeit und Korrelationskoeffizient	17
2.7 Einfluss des Hangneigungswinkel auf die submarine Hangstabilität und Hangneigungsklassen	18
2.8 Differenzbilder für geologische/geophysikalische Interpretationen	20
3 UNTERSUCHUNGSGEBIET	21
3.1 Geologische Beschreibung	21
3.2 Nähere Abgrenzung	23
4 METHODEN DER DATENAUFBEREITUNG	24
4.1 Transformation der Fächerecholot-Daten	24
4.2 Transformation der Etopo2v2-Daten	26
4.3 Transformation der Gravimetrie-Daten	28
	3

5	METHODEN DER DATENANALYSE	30
5.1	„Moving window“	30
5.2	Zonale Statistiken für das Gesamtgebiet	31
5.2.1	Erstellung einer Maske für die „moving window“-Methode	32
5.3	Zonale Statistiken von ausgewählten Teilgebieten	33
5.3.1	Erstellung einer Maske für die „moving window“-Methode	34
5.4	Differenzbilder	35
6.	STATISTISCHE ERGEBNISSE	37
6.1	Gesamtgebiet	38
6.1.1	Deskriptive Statistik	38
6.1.2	Korrelation der z-Werte von ETOPO2v2, Fächerecholot und Gravimetrie	38
6.1.3	Deskriptive Statistik der Hangneigung	39
6.1.4	Korrelation der Hangneigung von ETOPO2v2 und Fächerecholot	40
6.2	Ausgewählte Gebiete	40
6.2.1	Deskriptive Statistik	40
6.2.2	Korrelation der z-Werte von ETOPO2v2, Fächerecholot und Gravimetrie	41
6.2.3	Deskriptive Statistik der Hangneigung	43
6.3	Direkter Vergleich	44
6.3.1	Vergleich der z-Werte (Tiefenwerte)	44
6.3.2	Vergleich der Hangneigung	45
7	DISKUSSION	46
7.1	Mögliche Fehler bei der Interpolation der Datensätze	46
7.2	Korrelationen der Datensätze und Differenzbilder	47
7.3	Die Hangneigung beider Datensätze im Vergleich	50
8	ZUSAMMENFASSUNG	51
9	AUSBLICK	53
	QUELLENANGABEN	54
	ANHANG A	59
	ANHANG B	60
	ANHANG C	69
	GLOSSAR	74
	ERKLÄRUNG ZUR BACHELORARBEIT	75

Abbildungsverzeichnis

Abb.1 Schematische Übersicht über das methodische und analytische Vorgehen von Datenaufbereitung bis Diskussion der statistischen Ergebnisse	8
Abb.2 Flugbahnen der Satelliten im Bereich Hawaii	13
Abb.3 Berechnung der Höhe des Geoid;	14
Abb.4 Quellen der ETOPO2v2-Daten	15
Abb.5 Schema der Meeresbodenvermessung	17
Abb.6 Abhängigkeit zwischen Sedimentmächtigkeit und Korrelationskoeffizient	18
Abb.7 Einfluss einer Magmakammer auf die Gravitation	20
Abb.8 Das Untersuchungsgebiet (northern Peary Province) im zentralen Scotia Meer	21
Abb.9 Vereinfachte plattentektonische Situation in der Umgebung des Scotia Meeres	22
Abb.10 Fächerecholot-Daten von der Polarstern-Fahrt ANT XXII/4 (2005)	25
Abb.11 Hangneigung aus den Fächerecholot-Daten	26
Abb.12 ETOPO2v2-Daten;	27
Abb.13 Hangneigung aus den Etopo2v2-Daten	28
Abb.14 Darstellung der gravimetrischen Freiluftanomalie aus Satellitenaltimetrie-Daten nach Smith&Sandwell	29
Abb.15 „moving window“	30
Abb.16 ASCII-Datei „Maske“	32
Abb.17 Raster „Maske“ für die „moving window“-Methode (Gesamtgebiet)	33
Abb.18 Musterraster für die ausgewählten Gebiete für die „moving window“-Methode	34
Abb.19 Differenzbild z-Werte (Tiefe);	35
Abb.20 Differenzbild der Hangneigungs-Raster (z-Werte);	36
Abb.21 Überprüfung des Korrelationskoeffizienten im Gebiet „Tal“ von Gravimetrie und Fächerecholot	48
Abb.22 Vergleichende Darstellung der Datensätze;	51
Abb.23 Grid Parameters des GEODAS Grid-Translators	60
Abb.24 Grid Options des GEODAS Grid-Translators	60
Abb.25 Datenreihe auffüllen in Excel;	61
Abb.26 Zonal Statistics	61
Abb.27 Polygon to Raster	62
Abb.28 Inverse Distance Weighted	62
Abb.29 Clip	63
Abb.30 ASCII 3D to Feature Class	63
Abb.31 Project Raster und Environment Settings	64
Abb.32 Project	64
Abb.33 TIN to Raster	65
Abb.34 TIN to Raster und Enviroment Settings	65
Abb.35 Slope	66
Abb.36 Raster to ASCII	66
Abb.37 ASCII to Raster	66
Abb.38 Create TIN From Feature	67
Abb.39 Properties und Registerpoints	67
Abb.40 Raster Calculator	68
Abb.41 Differenzbild IDW-Fächerecholot minus TIN Fächerecholot	69
Abb.42 Differenzbild TIN Fächerecholot minus ETOPO2v2	69
Abb.43 Hangneigung Fächerecholot TIN	70
Abb.44 General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)	71
Abb.45 International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO)	72
Abb.46 Korrelation zwischen Meeresbodentiefe und Gravimetrie nach Sandwell&Smith;	73
Abb.47 Tektonische Karte des Scotia Meeres;	73

Tabellenverzeichnis

Tab.1	Übersicht der von Smith&Sandwell verwendeten Satellitenaltimetrie-Daten	13
Tab.2	Einteilung der submarinen Hangneigungsklassen	19
Tab.3	Verbale Beschreibung des Korrelationskoeffizienten	37
Tab.4	Deskriptive Statistik von ETOPO2v2, Fächerecholot und Gravimetrie	38
Tab.5	Korrelation von ETOPO2v2, Fächerecholot und Gravimetrie	39
Tab.6	Deskriptive Statistik der Hangneigung von ETOPO2v2 und Fächerecholot	39
Tab.7	Korrelation der Hangneigung von ETOPO2v2 und Fächerecholot	40
Tab.8	Deskriptive Statistik der ausgewählten Gebiete von ETOPO2v2, Fächerecholot und Gravimetrie	41
Tab.9	Korrelation „Kuppenkette“ von ETOPO2v2, Fächerecholot und Gravimetrie	41
Tab.10	Korrelation „Sattel“ von ETOPO2v2, Fächerecholot und Gravimetrie	42
Tab.11	Korrelation „Hang“ von ETOPO2v2, Fächerecholot und Gravimetrie	42
Tab.12	Korrelation „Tal“ von ETOPO2v2, Fächerecholot und Gravimetrie	43
Tab.13	Deskriptive Statistik der Hangneigung von ETOPO2v2 und Fächerecholot	44
Tab.14	Korrelationskoeffizienten und deren Bedeutung für das Gesamtgebiet und die ausgewählten Gebiete	47

1 Einleitung

1.1 Fragestellung

In dieser Bachelorarbeit soll die prädizierte Bathymetrie (ETOPO2v2c) mit direkt gemessener Bathymetrie (Fächerecholot) mit geostatistischen Methoden verglichen werden. Die aus Satellitenaltimetrie abgeleiteten gravimetrischen Daten sind Teil dieser Untersuchung. Ein Vergleich der Datensätze soll mit Hilfe von Differenzbildern und der deskriptiven Statistik ermöglichen, die Qualität der prädizierten Bathymetrie zu beurteilen. Die deskriptive Statistik findet in vielen Bereichen in der Industrie Anwendung. Nach STANGE (1975) ist die „Qualität der Übereinstimmung“ (*engl. quality of conformance*) die Übereinstimmung des gedachten Vorbildes auf dem Papier und der tatsächlichen wirklichen Ausführung. Wenn die Übereinstimmung von Vorstellung und dem wirklichen Erzeugnis gut ist, spricht man von einer guten Qualität. In diesem Sinne soll geklärt werden, in welchen Bereichen die ETOPO2v2c-Daten eine gute Qualität besitzen. Neben bathymetrischen Fragestellungen in Bezug auf die relative Einschätzung von Sedimentmächtigkeit und geologisch/geophysikalischer Interpretationen sollen Fragestellungen zur submarinen Geomorphologie in Bezug auf die Hangneigung diskutiert werden. Um die ETOPO2v2c-Daten (im Folgenden nur ETOPO2v2 genannt) bezüglich der oben genannten Fragestellungen zu untersuchen, wurde der auf der Polarsternfahrt ANT XXII/4 im Jahre 2005 erhobene und vom Alfred-Wegener-Institut (AWI) zur Verfügung gestellte Fächerecholot-Datensatz des Scotia Meeres (*engl. Scotia Sea*) benutzt. Diese Daten sind nicht als Referenzdaten zur Berechnung des ETOPO2v2-Datensatzes verwendet worden, so dass ein Vergleich der Datensätze zulässig ist. Im Folgenden ist ein Schema dargestellt, in dem das methodische und analytische Vorgehen verdeutlicht wird (Abb.1):

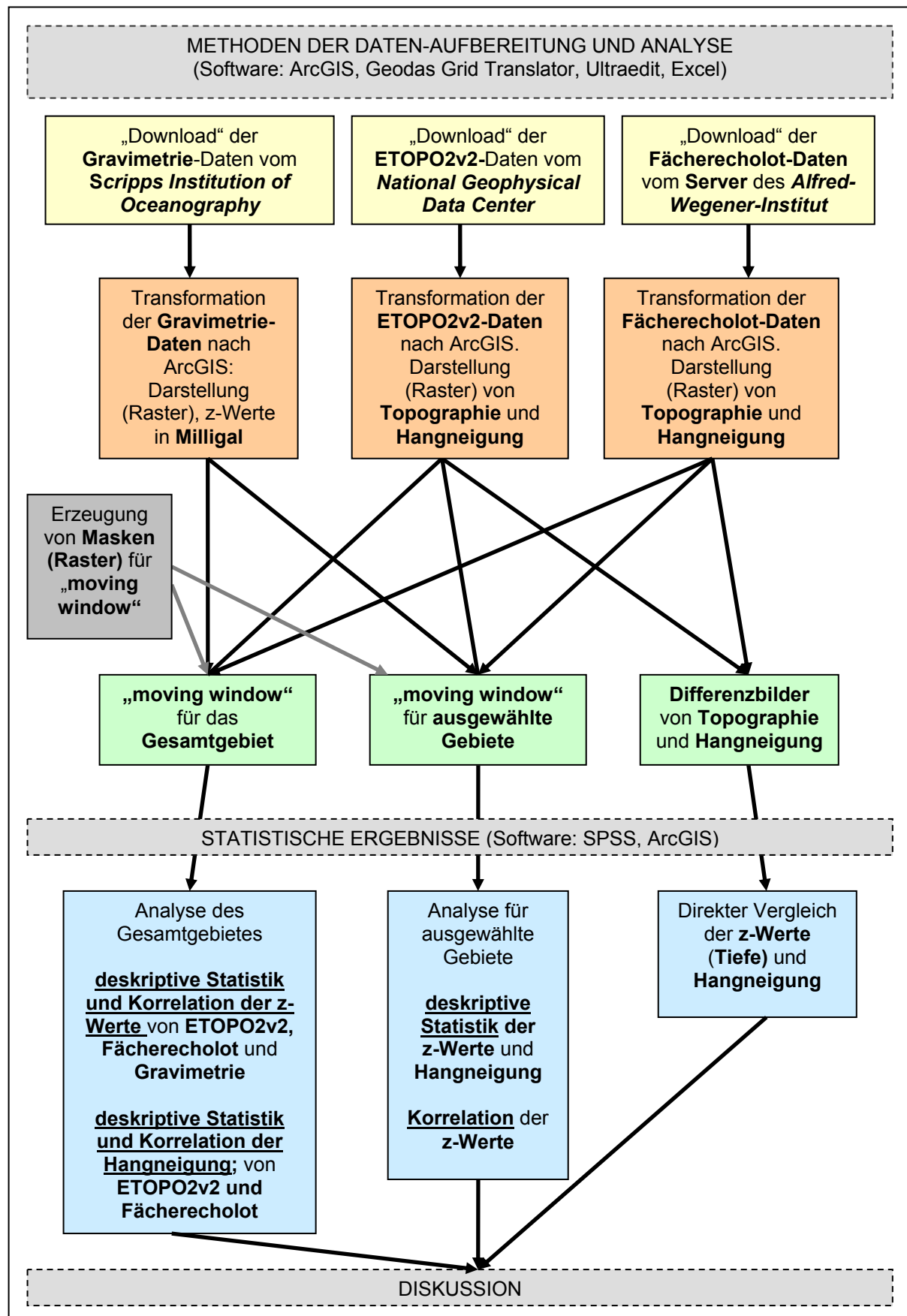


Abb.1 Schematische Übersicht über das methodische und analytische Vorgehen von Datenaufbereitung bis Diskussion der statistischen Ergebnisse

2 Stand der Forschung

2.1 Einführung in die Thematik

Gegenwärtig wird, nicht zuletzt durch schrumpfende kontinentale Ressourcen, die Nutzung der Meere als Rohstofflieferant ein immer wichtigerer Bestandteil für die Zukunft der Weltbevölkerung. Die Weltmeere machen mehr als 2/3 der Gesamtoberfläche der Erde aus, wobei der überwiegende Teil der Ozeane kaum bzw. überhaupt nicht erforscht ist. Besonders die Bereiche der Tiefsee sind weitestgehend unbekannt.

Neben unbekannten ökologischen Aspekten der Ozeane ist das Wissen über die Topographie der Meeresböden begrenzt. Nur wenige Prozent der von Meer bedeckten Fläche sind genau kartographiert (WILLE 2005:64). Dies liegt in erster Linie daran, dass die elektromagnetischen Wellen der Satelliten nicht die Oberfläche von Wasser durchdringen können, sondern an ihr reflektiert werden (FLOYD&SABINS 1986:326). Somit ist keine direkte Vermessung des Meeresbodens mit Satelliten möglich. Dies erklärt, dass die Oberfläche des Mondes besser kartographiert werden kann als die Oberfläche des Meeresbodens (SCHENKE 2005a). Es gibt jedoch Methoden die Topographie des Meeres zu präzisieren (vorherzusagen). Mitte des 19. Jahrhunderts wurde erstmals versucht, Gebiete des Weltmeeres flächendeckend auszuloten (DIETRICH ET AL.1975). Es konnten somit bathymetrische Karten erstellt werden, wobei nicht durch Messwerte belegte Orte per Hand interpoliert wurden (GIERLOFF-EMDEN 1980:244). Mitte des 20. Jahrhunderts wurden seismische Messungen in die Erstellung der Karten mit einbezogen (GIERLOFF-EMDEN 1980:470). Heutzutage benutzt man die Satellitenaltimetrie um indirekte Auskunft über die Topographie des Meeresbodens zu bekommen. Die Höhe der Wasseroberfläche im Bezug auf das Ellipsoid kann bestimmt werden (Kapitel 2.3.1) und aus der daraus ableitbaren Gravimetrie können Rückschlüsse auf die Topographie des Meeresbodens gemacht werden (Kapitel 2.3). Viele Karten, in der die submarinen Strukturen der Ozeane dargestellt sind, basieren wesentlich auf präzisierter Bathymetrie (WILLE 2005:64).

Die Bathymetrie ist die Wissenschaft von der Vermessung des Meeresbodens. Neben der prädizierten Bathymetrie ist das Fächerecholot das einzig bekannte Instrument, die Topographie des Meeresbodens präzise dreidimensional zu vermessen. Aufgrund der heutigen Geschwindigkeit der Vermessung mittels dem Fächerecholot (nur wenige Schiffe haben ein Fächerecholot) wird angenommen, dass es noch etwa 125 bis 200 Jahre dauern wird, bis der gesamte Meeresboden flächendeckend vermessen ist (SANDWELL ET AL. 2001). Neben dem ökonomischen Interesse, die Topographie des Meeresbodens darstellen zu können (z.B. für die Exploration neuer Erdölvorkommen) sind zum Verständnis der Geologie genaue bathymetrischen Karten notwendig. Bathymetrische Karten sind ein wichtiger Beitrag zum Verständnis der Plattentektonik (MCADOO&WATTS 2003). Aktuelle geopolitische Diskussionen über die Gebietszugehörigkeit der Arktis sind ein weiteres Beispiel dafür, wie wichtig eine genaue Kenntnis über die Topographie des Meeresbodens ist, da es ein entscheidendes Kriterium in der UNO-Seerechtskonvention ist (FALKSOHN ET AL. 2008). Außerdem lassen sich Anwendungen in der Hochseefischerei oder bei Klimamodellierungen finden, bei denen ozeanische Strömungen eine wesentliche Rolle spielen (MACKENZIE 1997). In oben genannten und weiteren Anwendungsgebieten kommt der prädizierten Bathymetrie heute eine große Rolle zu, da sie die globale Meeresbodenoberfläche in einer Gesamtbetrachtung darzustellen vermag (MACKENZIE 1997). Ein weiterer Vorteil der prädizierten Bathymetrie gegenüber der auf Fächerecholot basierenden Bathymetrie ist der Kostenfaktor. Wie in der satellitengestützten Fernerkundung von terrestrischer Topographie sind diese Daten verhältnismäßig kostengünstig zu gewinnen und zu erhalten (SANDWELL ET AL. 2001:3). Die in dieser Bachelorarbeit verwendeten ETOPO2v2-Daten stellt das *National Geophysical Data Center* (NGDC) kostenlos bereit und sind für jedermann über das Internet verfügbar. Nachteil gegenüber Fächerecholot-Daten ist, dass sie eine wesentlich geringere Genauigkeit bzw. Auflösung haben. Da der ETOPO2v2-Datensatz lediglich prädiziert ist, d.h. nicht genau die Topographie des Meeresbodens widerspiegeln kann, kann sich der Betrachter nicht sicher sein, ob die abgebildeten Topographien der Wirklichkeit annähernd entsprechen und ob sie für wissenschaftliche Fragestellungen in der Bathymetrie und/oder Geomorphologie benutzt werden dürfen. Dieser Frage wird hier am Fallbeispiel des Scotia Meeres nachgegangen.

2.2 Wichtige bathymetrische Datenbanken und Kartenwerke

2.2.1 General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)

Der GEBCO-Datensatz ist ein globaler, frei verfügbarer bathymetrischer Datensatz zusammengesetzt aus heterogenen Daten. Der Datensatz kann vom *British Oceanographic Data Centre* (BODC) erhalten werden (URL: http://www.bodc.ac.uk/data/online_delivery/gebco/).

Auf dem VII. internationalen geographischen Kongress in Berlin im Jahr 1899 haben die Teilnehmer beschlossen, eine einheitliche Karte zur Darstellung der Weltmeere mit der Abkürzung GEBCO zu erstellen (GIERLOFF-EMDEN 1997:200). Auf Grundlage von verfügbaren Tiefenlotungen wurde sie erstmals im Jahr 1904 veröffentlicht. Bis heute wird die Karte ständig aktualisiert. Seit 1994 sind die Daten mit der Einführung des *GEBCO Digital Atlas* (GDA) digital vorhanden (SCHENKE 2005a:65). Die GEBCO wird unter der Federführung der *Intergovernmental Oceanographic Commission* (IOC) und der *International Hydrographic Organization* (IHO) verwaltet und betreut. Die Neuauflage aus dem Jahr 2004 liegt als Mercator-Projektion vor (Anhang C, Abb.44). Namen von submarinen Strukturen für die GEBCO-Karte vergibt das *GEBCO Sub-Committee on Undersea Feature Names* (SCUFN) (WILLE 2005:65).

2.2.2 International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO)

Dieses Kartenwerk (Anhang C, Abb.45) umfasst die Bathymetrie für den arktischen Ozean nördlich 64°N und wurde teils aus satellitengestützter prädizierter Bathymetrie und teils aus mit dem Fächerecholot gemessener Bathymetrie zusammengesetzt. Die Landtopographien sind aus dem GLOBE-Datensatz entnommen (MARKS&SMITH 2006). Die Karte liegt in polarstereographischer Projektion vor. Das internationale Projekt wurde im Jahr 1997 gestartet. Im Jahr 2000 erschien die erste IBCAO-Karte (MACNAB 2007), die durch die im Frühjahr 2008 veröffentlichte IBCAO-Karte abgelöst wurde. Weitere Informationen zur Entwicklung dieser Karte bietet JAKOBSSON ET AL. (2008).

2.2.3 International Bathymetric Chart of the Southern Ocean (IBSCO)

Äquivalent zu der IBCAO soll für den Südlichen Ozean ein bathymetrischer Datensatz aus vielen heterogenen Daten zusammengetragen und in Form einer Karte veröffentlicht werden. Die Karte soll das Gebiet südlich 50°S darstellen. Das Projekt wurde während der GEBCO-Tagung im Jahr 2002 ins Leben gerufen. Seit 2006 hat das Alfred-Wegener-Institut die Koordination des Projektes übernommen (OTT&SCHENKE 2007). Weitere Informationen finden sich auf der offiziellen Homepage der IBSCO (URL: www.ibcso.org).

2.3 Gravimetrie-Daten

Die Oberfläche des Ozeans ist eine Äquipotentialfläche des gravimetrischen Feldes. Auf dieser auch als Geoid bezeichneten Fläche ist die Schwerkraft senkrecht gerichtet. Die Erde ist keine Kugel sondern (annähernd) ein Ellipsoid. Die Abplattung des Erdellipsoiden an den Polen beträgt ca. 43km (MAYER 2005:65). Auch dieses Rotationsellipsoid entspricht nicht der wahren Figur der Erde. Tatsächlich hat die Erde viele Abweichungen vom Rotationsellipsoid. Auf den Kontinenten ist die Abweichung vom Rotationsellipsoid durch Berge und Senken gekennzeichnet. An der Meeresbodenoberfläche finden sich ebenfalls „Berge und Senken“. Diese sind zwar gering, aber durchaus vorhanden. Abgesehen von Tidenänderung und Wellenbildung gibt es auf der Ozeanoberfläche Abweichungen vom Ellipsoid bis zu 100 Meter (MAYER 2005:65). Diese Abweichungen können mit Hilfe von Satelliten genau gemessen werden. Aufgrund des gravimetrischen Feldes, verursacht durch die submarinen Strukturen zeigen sich an der Meeresoberfläche kleine Beulen (*engl. bumps*) und Senken (*engl. dips*).

Die Geophysiker Walter H. F. Smith und David T. Sandwell haben Satellitenaltimetrie-Daten mit unterschiedlicher Datendichte von verschiedenen Satellitenmissionen zusammengetragen (Tab.1 und Abb.2) und die gravimetrische Freiluftanomalie (*engl. Free-Air-anomaly*) berechnet. Die Freiluft- Anomalie entspricht auf Meeresniveau nicht der Bouguer-Anomalie (FORSBERG 1997).

Die Datenbank mit einer Auflösung von 1° x 1° stellt das *Scripps Institute of Oceanography* kostenlos im Internet bereit (Kapitel 4.5).

Satellit	Start des Satelliten	Mission	Betreiber	Zeitraum der Mission
Geosat	1985	Geosat/ERM Geosat/GM	U.S. Navy	1985-1986
ERS-1 ERS-2	1991 1995	ERS/GM ERS/ERM	ESA (European Space Agency)	1994-1995 k.A.
TOPEX/ Poseidon	1992	TOPEX	NASA/ U.S. Space Agency	k.A.

Tab.1 Übersicht der von Smith&Sandwell verwendeten Satellitenaltimetrie-Daten;
Zusammengestellt aus McADOO (2008) und der Beschreibung der Daten vom
SCRIPPS INSTITUTE OF OCEANOGRAPHY (2008).

(URL: ftp://topex.ucsd.edu/pub/global_grav_1min/README.16.1)

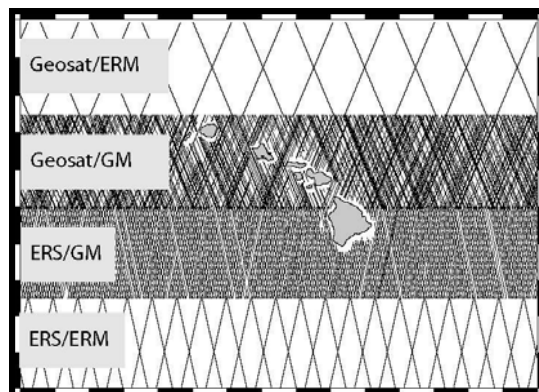


Abb.2 Flugbahnen der Satelliten im Bereich Hawaii (McADOO 2008); *Illustration der unterschiedlichen Datendichte in den Satellitenaltimetrie-Daten von Sandwell&Smith.*

2.3.1 Vermessung der Geoid-Höhe

Mit Hilfe von bodengestützten Referenzstationen kann die Position und die Höhe (h^*) des Satelliten in seiner Umlaufbahn in Bezug auf das Rotationsellipsoid genau bestimmt werden. Mit einem senkrecht zum Ellipsoiden gerichteten Radarimpuls kann durch die Zeitmessung die tatsächliche Höhe (h) des Satelliten über der Meeresoberfläche errechnet werden.

Mit folgender Formel (1) kann nun die Geoid-Höhe (N) errechnet werden (Abb.3):

$$N = h^* - h \quad (1)$$

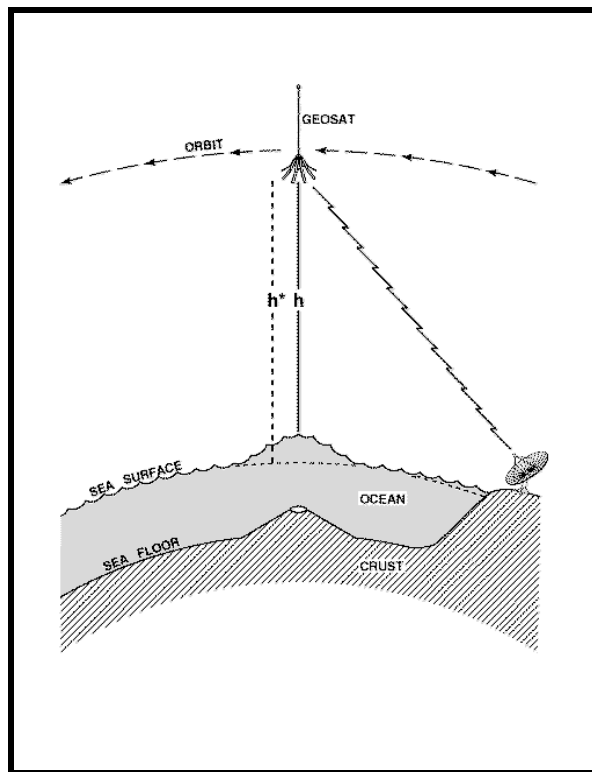


Abb.3 Berechnung der Höhe des Geoid;
 (Sandwell&Smith 1997) Durch die Formel N
 (Geoid-Höhe) = h^* (Höhe des Satelliten über
 Ellipsoid) - h (Höhe des Satelliten über der
 Wasseroberfläche) wird die Differenz zwischen
 Wasseroberfläche und Ellipsoid berechnet.

2.4 Etopo2v2-Daten

Der ETOPO2v2-Datensatz ist ebenfalls ein globaler, frei verfügbarer bathymetrischer Datensatz, der überwiegend prädierte Bathymetrie von Smith&Sandwell beinhaltet. Er ist kombiniert mit dem GLOBE-Datensatz (*Global Land One-kilometer Base Elevation*) für die kontinentalen Gebiete (NATIONAL GEOPHYSICAL DATA CENTER 2008a)

und wird ergänzt durch die Datensätzen *IBCAO* (Kapitel 2.2.2), *NGDC Coastal Relief Model (CRM)*, *NGDC Great Lakes Bathymetric Data* und *Caspian Sea Bathymetry*. Nähere Informationen über die einzelnen Datensätze finden sich auf der Internetseite des NGDC (URL: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/06mgg01.html>) (Abb.4).

Die gesamte terrestrische und submarine Topographie wird in einer einheitlichen Auflösung von 2x2 Bogenminuten angeboten. Der Datensatz kann vom *National Geophysical Data Center* (NGDC) erhalten werden (Kapitel 4.2). Die Daten liegen im geographischen Koordinatensystem (WGS_1984) vor.

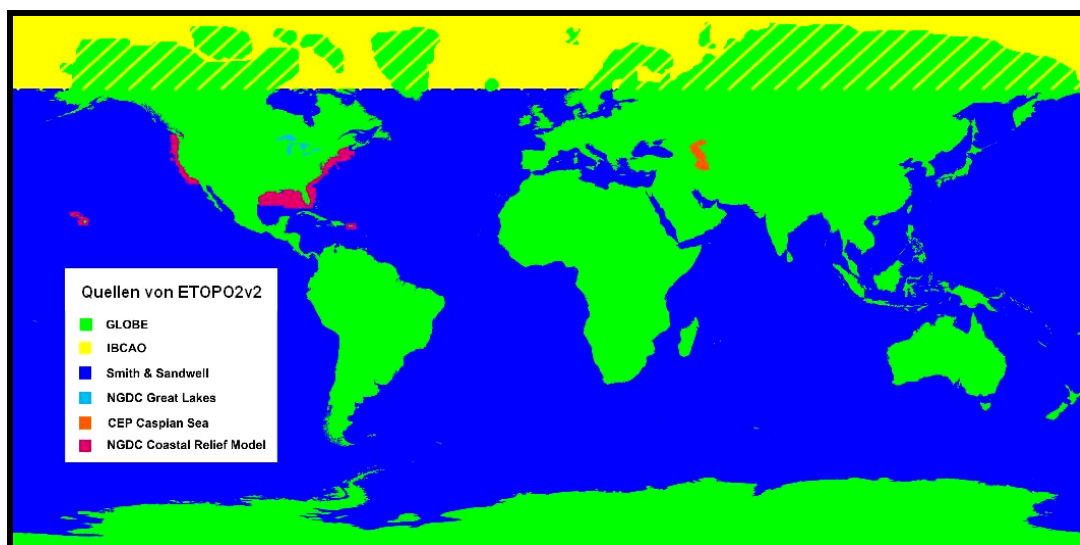


Abb.4 Quellen der ETOPO2v2-Daten [verändert nach NATIONAL GEOPHYSICAL DATA CENTER (2008a) (URL: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/06mgg01.html>)]; Der IBCAO-Datensatz beinhaltet auch den GLOBE-Datensatz und damit auch die kontinentalen Gebiete nördlich 64°N.

2.4.1 Transformation von Gravimetrie in Topographie

Mit Hilfe von verfügbaren Fächerecholot basierenden Referenzdaten und den Gravimetrie-Daten derselben Gebiete wurde von Smith&Sandwell eine mathematische Transformations-Funktion entwickelt, um die Gravimetrie-Daten in Topographie umzuwandeln (MACKENZIE 1997). Diese Funktion wurde komplett auf die globalen Gravimetrie-Daten angewendet. Das Ergebnis war ein global bathymetrisch-prädizierter Datensatz. Der genaue Umwandlungsprozess wird hier nicht behandelt, da er über den Rahmen der Bachelorarbeit hinausgehen würde.

2.5 Fächerecholot-Daten für das Scotia Meer

Die Daten für das Untersuchungsgebiet (Kapitel 3.2) im Scotia Meer wurden auf der Polarsternfahrt ANT XXII/4 im Jahre 2005 gewonnen. Mit dem Fächerecholot-System Atlas Hydrosweep DS-2 wurde das Gebiet vermessen (SCHENKE 2005b). Die geologische Entwicklung des zentralen Scotia Meer ist aufgrund der komplexen tektonischen Verhältnisse nicht eindeutig zu interpretieren. Genaue bathymetrische Karten sollen wichtige Beiträge zum Verständnis über vergangene und gegenwärtige tektonische Bewegungen liefern (SCHENKE 2005b:66).

2.5.1 Funktionsprinzip eines Fächer(-echolot)

Bei der Echolotung wird im Wasser ein Schallimpuls (z.B. unterhalb eines Schiffes) ausgesendet und die Zeit gemessen, die der Schall benötigt, um wieder am Ursprung nach der Reflektion am Meeresboden anzukommen. Kennt man die Geschwindigkeit der Schallwellen im Wasser, kann über die Zeit die Länge des Schallweges berechnet werden. Für das Echolot kann nach GIERLOFF ET AL. (1980:228) der Schallweg des Schallimpulses und somit die Wassertiefe vereinfacht mit folgender Formel (2) berechnet werden, wobei die Schallwellenausbreitungsgeschwindigkeit (abhängig von Salzgehalt und Druck) als konstant angesehen wird:

$$T = \frac{s}{2} = \frac{v \cdot t}{2} \quad (2)$$

T = Wassertiefe

s = Schallweglänge

v = Schallwellenausbreitungsgeschwindigkeit

t = Laufzeit

Im Gegensatz zum Echolot sendet das Fächerecholot statt eines einzelnen Impulses ein Paket von Impulsen zur gleichen Zeit in einem speziellen Öffnungswinkel aus (Abb.5). Das auf der Polarstern eingesetzte Fächerecholot-System arbeitet in einem Öffnungswinkel von 90° und sendet 59 Impulse aus (SCHENKE 2008:47). Nach der Datengewinnung und Datenaufbereitung können mit Hilfe von ergänzender Software dreidimensionale bathymetrische Karten erstellt werden.

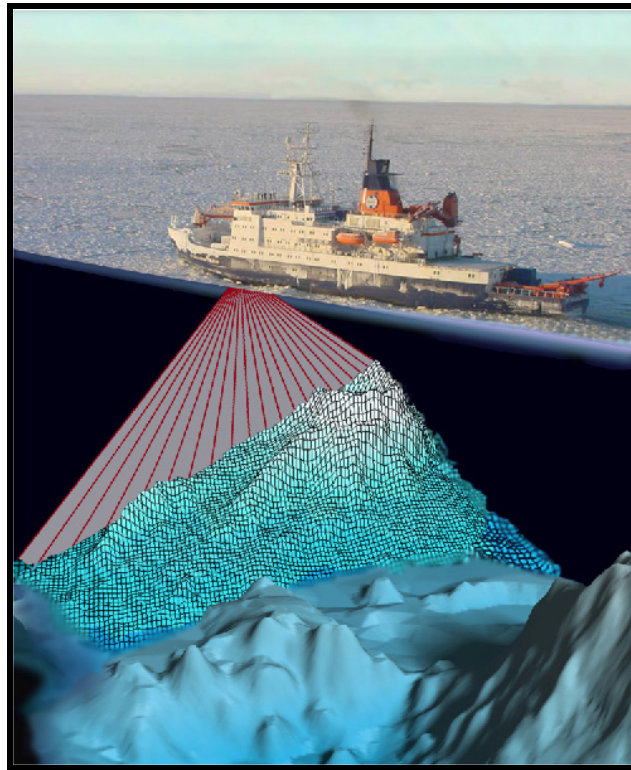


Abb.5 Schema der Meeresbodenvermessung
mit dem Fächerecholot (SCHENKE 2008:46)

2.6 Abhängigkeit zwischen Sedimentmächtigkeit und Korrelationskoeffizient

Da für die Messung der Gravitation die Dichte des Materials an bzw. unterhalb der Meeresbodenoberfläche eine entscheidende Rolle spielt, gibt der Korrelationskoeffizient zwischen der Gravitation und der Meeresbodenoberfläche nach SANDWELL ET AL. (2001) Auskunft über die Sedimentmächtigkeit (Anhang C, Abb.46). Da die Kruste gegenüber dem aufliegenden Sediment in der Regel eine höhere Dichte hat, haben Gebiete mit geringer Korrelation eine hohe Sedimentmächtigkeit und Gebiete mit einer hohen Korrelation eine geringe Sedimentmächtigkeit (Abb.6). In der späteren Auswertung der statistischen Parameter (Kapitel 6.1.2, 6.2.2) wird auf eine genauere Bestimmung der Sedimentmächtigkeit (was prinzipiell möglich ist) verzichtet, da es über den Rahmen dieser Bachelorarbeit hinausgehen würde. Es soll in der Diskussion (Kapitel 7.2) lediglich die Tendenz eingeschätzt werden, ob in den betrachteten ausgewählten Gebieten (Kapitel 5.3, Abb.18) relativ viel oder wenig Sediment vorhanden ist.

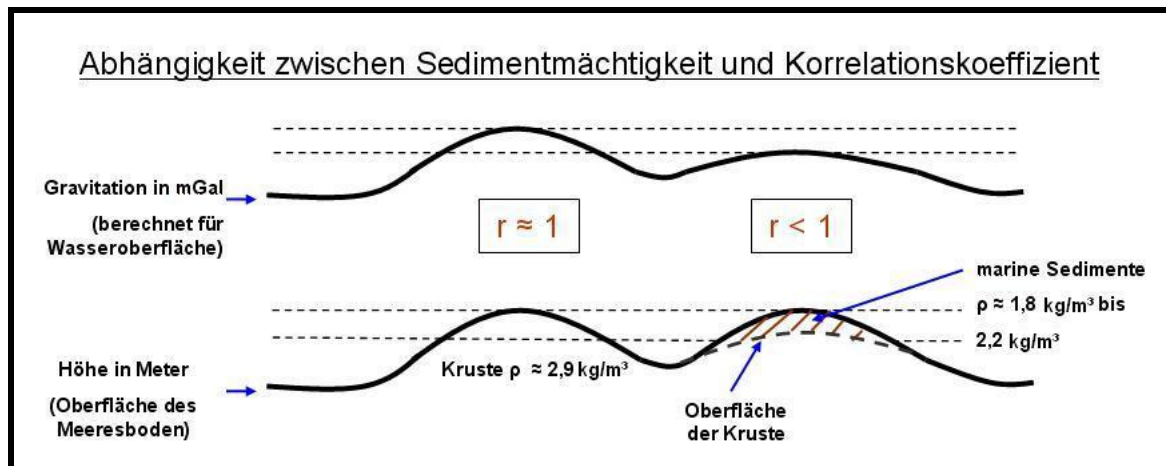


Abb.6 Abhängigkeit zwischen Sedimentmächtigkeit und Korrelationskoeffizient; (EIGENE DARSTELLUNG) Aufgrund der unterschiedlichen Dichte von Sediment und Kruste gibt der Korrelationskoeffizient zwischen Gravitation und Meeresbodenoberfläche Auskunft über die Sedimentmächtigkeit. Je größer der Korrelationskoeffizient, desto kleiner die Sedimentmächtigkeit. Dichtewerte nach WEIGELT (1998:44)

2.7 Einfluss des Hangneigungswinkel auf die submarine Hangstabilität und Hangneigungsklassen

Die Hangneigung geht in die Berechnungen des Sicherheitsfaktors bei der so genannten „Infinite Slope“ Theorie ein. Der Sicherheitsfaktor F gibt numerisch Auskunft, ob ein submariner Hang stabil ($F > 1$) oder instabil ($F < 1$). Bei Instabilität führt es zu Hangversagen, woraufhin eine Hangrutschung auslöst wird (HAMPTON ET AL. 1996). Die Mechanismen, die hier wirken, sind ähnlich der terrestrischen Hangrutschungen, haben aber auch Unterschiede, auf die hier nicht näher eingegangen wird. Der Sicherheitsfaktor kann nach HAMPTON ET AL. (1996) mit folgender Formel (3) vereinfacht ausgedrückt werden:

$$F = \frac{Fr}{Fg} \quad (3)$$

F = Sicherheitsfaktor
 Fr = Widerstandskraft
 Fg = Hangabtriebskraft

Die Hangabtriebskraft (F_g) (*engl. gravitational forces*) wird berechnet aus:

$$F_g = \gamma' \cdot z \cdot \sin \alpha \quad (4)$$

γ' = Dichte des Sediments unter Wasser

z = Mächtigkeit der Sedimentschicht unterhalb der Meeresbodenoberfläche

α = Hangneigungswinkel

Der Hangneigungswinkel α in Formel (4) hat bei der Berechnung des Sicherheitsfaktors F in Formel (3) starken Einfluss auf das Ergebnis. Je größer α , desto kleiner wird F . Aufgrund der Komplexität wird die Herleitung der Widerstandskraft F_r (*engl. resisting forces*) hier nicht behandelt, weil es über den Rahmen der Bachelorarbeit hinausgeht. Der Hangneigungswinkel hat ebenfalls bei der Berechnung von F_g Einfluss, hat aber eine geringe Auswirkung auf das Ergebnis. Nach BENNETT ET AL. (1978) wird eine Einteilung der submarinen Hangneigungsklassen vorgenommen (Tab.2), um eine verbale Umschreibung der Hangneigungen machen zu können. Diese Einteilung der Klassifizierung (Kapitel 4.1, 4.2) ist für die anschließende visuelle Darstellung ungeeignet. Es sind zu wenige Hangneigungsklassen, so dass deutliche Unterschiede in der Visualisierung nicht mehr klar sichtbar sind. Bei der Beschreibung der Ergebnisse (Kapitel 6) sollen sie jedoch berücksichtigt werden. Die Umrechnung von Prozent in Grad und umgekehrt kann mit folgenden Formeln (5) gerechnet werden:

$$\tan^{-1} \frac{X\%}{100} = X^\circ \Leftrightarrow \tan X^\circ \cdot 100 = X\% \quad (5)$$

Hangneigungsklasse	Hangneigung in Prozent	Hangneigung in Grad
flach (<i>engl. flat</i>)	< 10%	$\approx 5,7^\circ$
mittel (<i>engl. gentle</i>)	10% bis 35%	$\approx 5,7^\circ$ bis 19°
steil (<i>engl. steep</i>)	35% bis 50%	$\approx 19^\circ$ bis 27°
sehr steil (<i>engl. very steep</i>)	>50%	$\approx 28^\circ$

Tab.2 Einteilung der submarinen Hangneigungsklassen; verändert nach BENNETT ET AL. (1978).

2.8 Differenzbilder für geologische/geophysikalische Interpretationen

Differenzbilder auf Fächerecholot basierender Bathymetrie und prädizierter Bathymetrie können für geologische und geophysikalische Interpretationen hilfreich sein, da die Gravitation von der Dichte des Gesteins am Untergrund abhängig ist (PRESS&SIEVER 2003:528).

Als Beispiel soll hier der Einfluss auf die Gravitation einer Magmakammer zweier mittelozeanischer Rücken (MOR) vereinfacht dargestellt werden. Links im Bild (Abb.7) ist der MOR konstruktiv und verfügt über eine Magmakammer, die aus der Asthenosphäre gespeist wird. Die Asthenosphäre (und damit auch die Magmakammer) hat daher eine größere Dichte als die umliegende Lithosphäre (BURDA ET AL. 1987). Der MOR rechts im Bild hat keine Magmakammer und ist konservativ. Wenn wir von einer Sedimentschichtung absehen, wird im Falle des konstruktiven MOR (links) ein größerer Gravitationswert gemessen. Dieser Messwert ist letztendlich in die Berechnung von ETOPO2v2 mit eingeflossen. Durch ihre Differenzbilder (also der Differenz aus mit dem Fächerecholot gemessen Topographie und mit der auf gravimetrischen Daten beruhenden prädizierten Topographie) lassen sich beide Typen von MOR unterscheiden. In unserem Beispiel wird links das Differenzbild einen größeren Wert aufweisen als rechts (wo ohne jeglichen Dichteunterschied das Differenzbild überall den Wert null annehmen würde). Haben wir also eine positive Differenz weist das auf einen Störkörper in der Kruste von höherer Dichte hin, wie z.B. eine Magmakammer eines MOR.

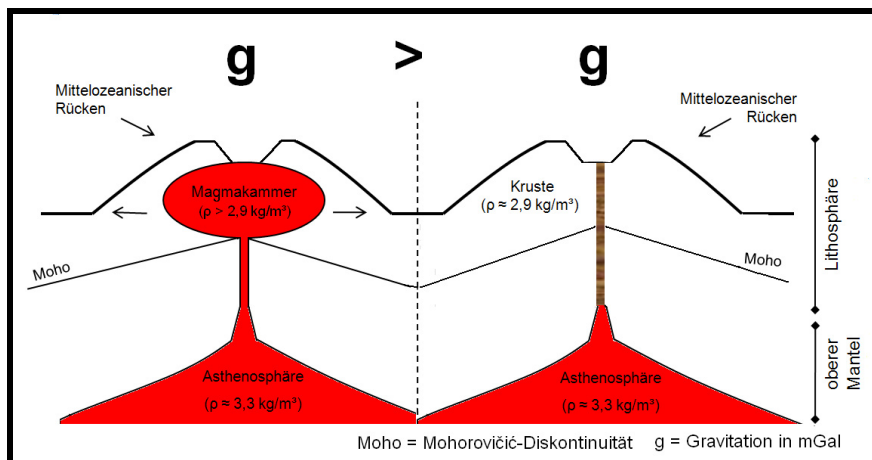


Abb.7 Einfluss einer Magmakammer auf die Gravitation; EIGENE DARSTELLUNG nach Vorlage von BAHLBURG&BREITKREUZ (2004:203). Die MOR (konstruktiv) links mit Magmakammer, die MOR rechts (konservativ) ohne Magmakammer. Dichtewerte nach DJOMANIA (2000) und WEIGELT (1998:44).

3 Untersuchungsgebiet

Das Scotia Meer liegt zwischen der Südspitze Südamerikas im Nord-Westen, Südgeorgien im Nord-Osten, den südlichen Sandwichinseln im Osten und den Süd-Orkney-Inseln im Süden (Abb.8). Der südliche Abschnitt des Scotia Meeres ist ein Teil des Südlichen Ozeans. Die Seegebietsgrenzen sind in diesem Gebiet noch nicht international einheitlich festgelegt worden. Nach *LIVERMORE ET AL. (1994:256)* ist das Scotia Meer begrenzt durch die größere Scotia-Platte im Westen und die kleinere Sandwich-Platte im Osten (Kapitel 3.1).

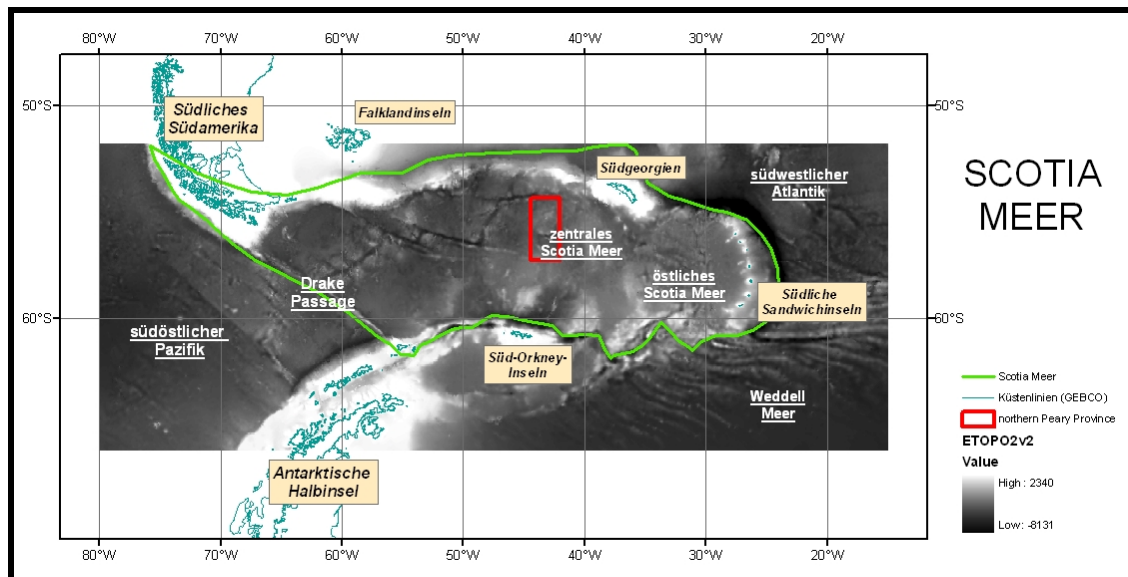


Abb.8 Das Untersuchungsgebiet (northern Peary Province) im zentralen Scotia Meer;
Die Bathymetrie ist durch die ETOPO2v2-Daten abgebildet und die Küstenlinien nach GEBCO. Die Abgrenzung des Scotia Meeres ist vom United States Geological Survey (USGS) übernommen und in ArcMap erstellt worden.
 (URL:<http://walrus.wr.usgs.gov/infobank/gazette/html/regions/ss.html>)

3.1 Geologische Beschreibung

Die Scotia Platte wird im Westen begrenzt durch die Shackleton Bruchzone (*engl. Shackleton Fracture Zone*), im Süden durch den südlichen Scotia Rücken (*engl. South Scotia Ridge*), im Norden durch den nördlichen Scotia Rücken (*engl. North Scotia Ridge*) und im Osten durch den östlichen Scotia Rücken (*engl. East Scotia Ridge*) (Abb.9) (LIVERMORE ET AL. 1994).

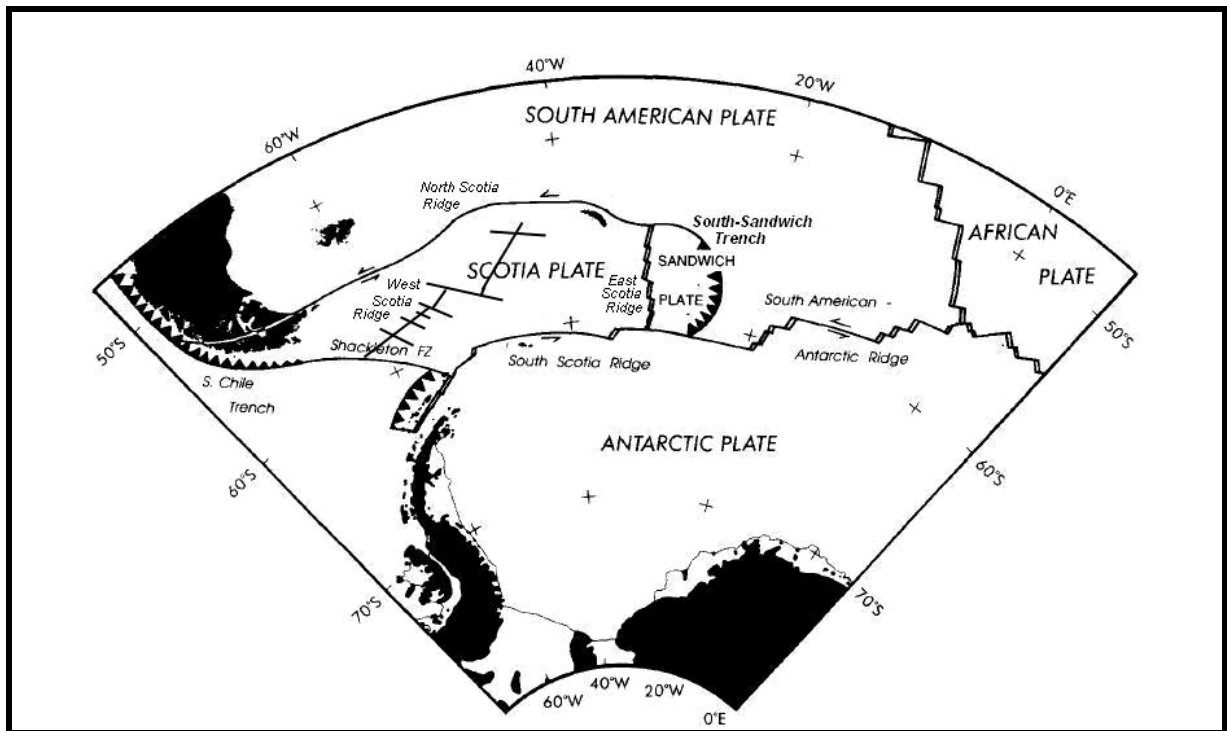


Abb.9 Vereinfachte plattentektonische Situation in der Umgebung des Scotia Meeres; [verändert nach LIVERMORE ET AL. (1994), SCHENKE&UDINTSEV (2006) und GINER-ROBLES ET AL. (2003) (Anhang C, Abb.47)]

Nach SCHENKE&UDINTSEV (2006:561) ist der östliche Scotia Rücken seit ca. 15 Millionen Jahren aktiv. Innerhalb der Scotia Platte befinden ehemals konstruktive mittelozeanische Rücken (Abb.9). Nahe der Shackleton Bruchzone befindet sich der heute als westlicher Scotia Rücken (*engl. West Scotia Ridge*) bezeichnete MOR, der in dem Zeitraum vor 28 bis 7 Millionen Jahren gebildet worden ist (SCHENKE&UDINTSEV 2006).

Die Scotia Platte wird im Westen subduziert von der Antarktischen Platte, wodurch Ausläufer der Anden und der davor befindliche Chilegraben (*engl. Chile Trench*) (auch als Atacamagraben bekannt) herausbildet werden. Hier liegt also eine destruktive Plattengrenze vor (FRISCH&MESCHÉDE 2007:15). Im Süden bewegt sich die Antarktische Platte an die Scotia Platte, wodurch durch die sinistrale (linkshändige) Seitenverschiebung (JACOBSHAGEN ET AL. 2000) der südliche Scotia Rücken geformt wird. Dabei bildet sich an der Plattengrenze weder neue Kruste noch geht Kruste durch Subduktion verloren. Sie wird somit nach FRISCH&MESCHÉDE (2007) als konservativ bezeichnet. Am nördlichen Rand der Scotia Platte bildet sich durch die sinistrale Seitenverschiebung der nördliche Scotia Rücken (GINER-ROBLES ET AL. 2003).

Östlich der Scotia Platte befindet sich die Sandwich Platte. Hier schiebt sich die Südamerika Platte (*engl. South America Plate*) unter die Sandwich Platte (*engl. Sandwich Plate*) und bildet den südlichen Sandwich Graben (*engl. South Sandwich Trench*). Die Entstehungen der südlichen Sandwichinseln ist eine Folge dieses noch andauernden Prozesses, der sich in der vulkanischen Aktivität dieses Inselbogens manifestiert.

Die Entwicklungsgeschichte des Scotia Meeres ist aufgrund der komplizierten tektonischen Strukturen insgesamt noch nicht komplett verstanden.

3.2 Nähere Abgrenzung

Das Untersuchungsgebiet wird nach SCHENKE&UDINTSEV (2006) als „northern Peary Province“ bezeichnet. Da hierfür keine deutsche Übersetzung vorliegt, wurde im Folgenden die englische Bezeichnung verwendet. Die „northern Peary Province“ ist Teil des zentralen Scotia Meeres (*engl. Central Scotia Sea*) (Abb.8). Das Untersuchungsgebiet umfasst eine Fläche von 47400km².

4 Methoden der Datenaufbereitung

Bei der Bearbeitung des Themas kam sowohl lizenzpflichtige (am AWI verfügbar) als auch Open Source Software zum Einsatz. Zur Datenaufbereitung und Transformation der Rohdaten in ein Raster wurde das Softwarepaket ArcGIS Desktop 9.2 SP 3 von der Firma ESRI benutzt sowie das Freeware Programm GEODAS (Geophysical Data System) - Grid Translator 5.0.11 vom *National Geophysical Data Center* sowie der Texteditor UltraEdit®-32 - v14.00 von der Firma *IDM Computer Solutions*.

Zur Datenanalyse (Kapitel 5) und statistischen Berechnung (Kapitel 6) wurden das zuvor genannte Softwarepaket ArcGIS und das Statistik Programm SPSS V15.0 verwendet. Auch wurde das Office Programm Microsoft®Excel 2002 SP3 benutzt, welches für die Erzeugung eines künstlichen Rasters für die Erhebung der zonalen Statistiken in ArcGIS unter anderem benötigt wurde (Kapitel 5.2.1). Nähere Informationen zu den Programmen sind im Anhang A nachzulesen.

Da Mercator-Projektionen bei bathymetrischen Karten und Seekarten üblich sind, wurde für die Bearbeitung des Themas für alle Shapefiles und Raster ebenfalls diese Art der Projektion verwendet. Die Beschreibung der Transformation der Daten in ein ArcGIS kompatibles Raster wird im Folgenden näher behandelt.

4.1 Transformation der Fächerecholot-Daten

Zur Aufbereitung der Fächerecholot-Daten wurde das Programm ArcGIS sowie der GEODAS Grid-Translator verwendet. Die vom AWI zur Verfügung gestellten Daten des Fächerecholots lagen zunächst nur als Punktdaten in geographischen Koordinaten mit dem entsprechenden Tiefenwert vor. Die Umwandlung der geographischen Koordinaten in Mercator-Koordinaten erfolgte mit dem Tool *Project* (Anhang B, Abb.32). Da die Analyse der Daten nur in Raster Form erfolgen kann, wurde mit Hilfe des Tools *Inverse Distance Weighted* (Anhang B, Abb.28) das Verfahren der inversen Distanzgewichtung (IDW) verwendet, um ein entsprechendes Raster zu interpolieren. Der Parameter „Stärke“ (*engl. power*) gewichtet die Messpunkte in Abhängigkeit ihrer Entfernung. Je größer der numerische Wert dieses Parameters ist, desto stärker wird das Relief geglättet. Für die Gewichtung wurde der Wert 3 gewählt und die Zellgröße wurde auf 200 Meter gesetzt (Anhang). Der z-Wert

wurde als „Float“ ausgegeben. Da die Randgebiete der Daten teilweise lückenhaft waren, wurde das Gebiet mit dem Tool *Clip* (Anhang B, Abb.29) beschnitten, so dass am Ende ein rechtwinkliges Raster mit 750 Spalten und 1580 Zeilen (Abb.10) vorlag. Somit besteht das Raster aus insgesamt 1185000 Pixeln. Mit dem Tool *Slope* (Anhang B, Abb.35) wurden dann die Hangneigungen berechnet und ebenfalls als Raster mit gleicher Zellgröße ausgegeben (Abb.11).

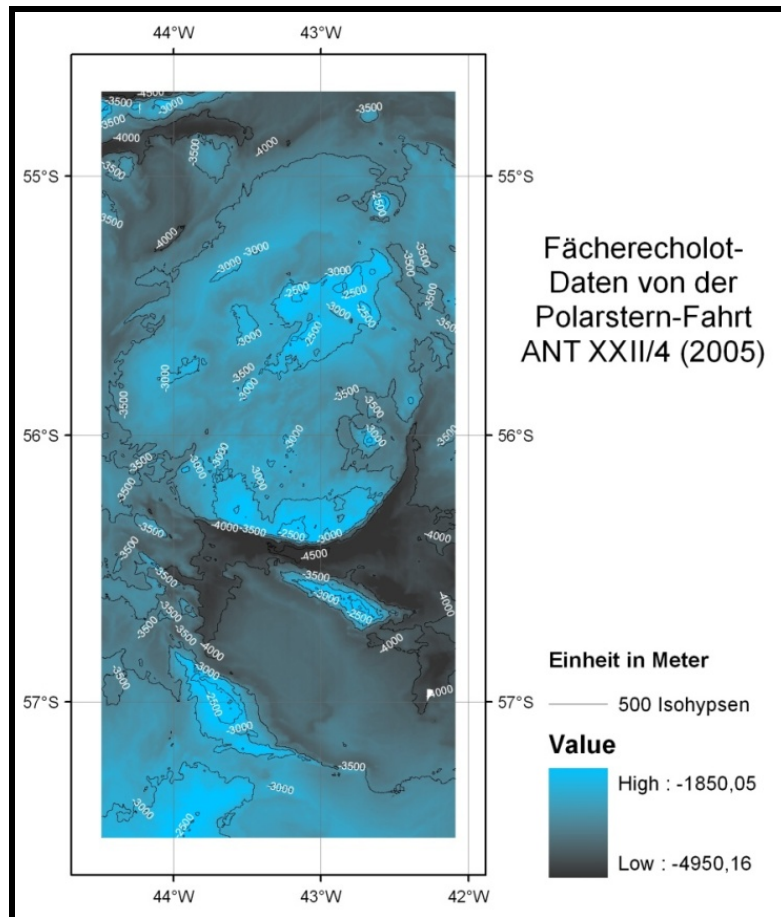


Abb.10 Fächerecholot-Daten von der Polarstern-Fahrt ANT XXII/4 (2005); Die Farbskalierung von Schwarz nach Türkis verdeutlicht die Höhenunterschiede.

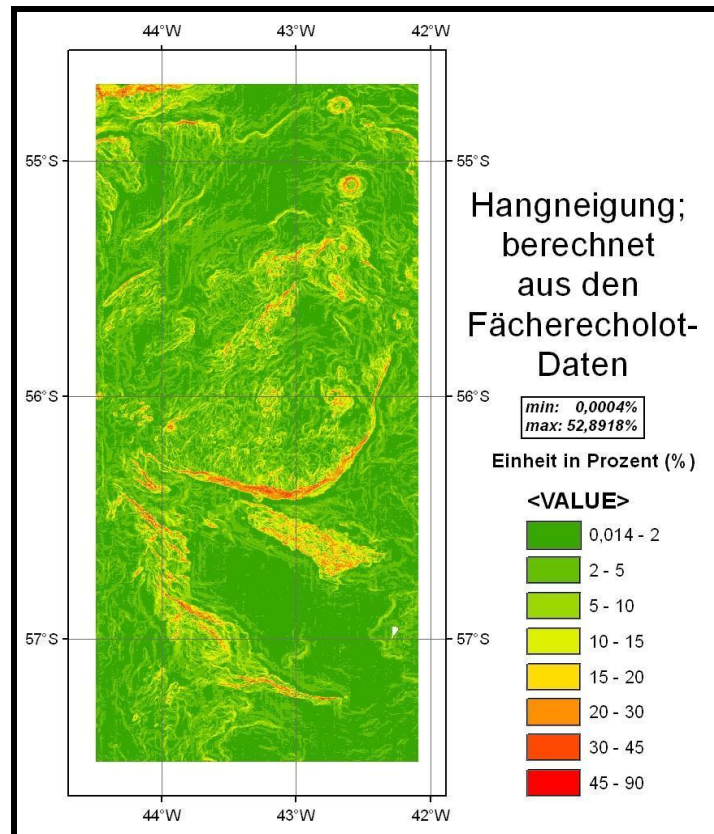


Abb.11 Hangneigung aus den Fächerecholot-Daten; *Die nicht linear gewählte Farbskalierung der Hangneigungsklassen von Rot über Gelb nach Grün verdeutlicht steile und flache Gebiete.*

4.2 Transformation der Etopo2v2-Daten

Zunächst wurde der komplette globale Datensatz der ETOPO2v2-Daten vom NGDC (URL: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>) sowie das Programm GEODAS (URL: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/geodas/geodas.html>) aus dem Internet bezogen. Der NGDC stellt zwei verschiedene ETOPO2v2-Datensätze bereit. In dieser Bachelorarbeit wurden die Daten mit der Endung „c“ (ETOPO2v2c) verwendet. Die Unterschiede in den Datensätzen ETOPO2v2c und ETOPO2v2g sind beim NATIONAL GEOPHYSICAL DATA CENTER 2008b erläutert. Da der vom NDGC bereitgestellte Datensatz nicht mit ArcGIS kompatibel ist, wurde er mit Hilfe des Grid-Translators von GEODAS benutzerdefiniert transformiert (Anhang A, Abb.23, Abb.24). Das Gebiet des Scotia Meeres wurde mit diesem Programm „ausgeschnitten“ und als ASCII-Datei mit einer ArcGIS-Kopfzeile (*engl. Header*) gespeichert. Ausführliche Hinweise zur Bearbeitung von den älteren ETOPO2-Daten des NGDC beschreibt TRAUTH 2005.

Die ASCII-Datei wurde in ArcMap eingelesen und mit dem Tool *Project Raster* (Anhang B, Abb.31) in die Mercator-Projektion transformiert. Da die ETOPO2v2-Daten eine Auflösung von 2x2 Bogenminuten haben, wurde für die Zellgröße (*engl. cellsize*) 2000 Meter festgelegt. 2000 Meter entsprechen etwa 2 Bogenminuten auf einer Breite von 60° ($2 \cdot 1'(\text{rad}) \cdot \cos 60^\circ = 2 \cdot 1852\text{m} \cdot 0,5 \approx 2000\text{m}$).

Somit hat das Raster eine nur leicht geringere Auflösung gegenüber dem ursprünglichen (geographischen) Raster. Bei der Erzeugung mit dem Tool *Project Raster* wurde darauf geachtet, dass beim Übereinanderlegen der Layer ETOPO2v2 und Fächerecholot in ein ETOPO2v2-Feld (ein Pixel) genau 100 Fächerecholot-Pixels deckungsgleich passen. Dazu wurden die „Register Points“ aus dem Fächerecholot-Raster importiert und bei der Erzeugung als Parameter mit angegeben (nachzusehen unter: Layer Properties>Source>Extent; „Left“ entspricht der x Koordinate, „Bottom“ der y Koordinate, Anhang B, Abb.31 und Abb.39). Der z-Wert wurde automatisch als „Integer“ ausgegeben.

Mit Hilfe des Tools *Slope* wurden die Hangneigungen berechnet und ebenfalls als Raster mit gleicher Zellgröße ausgegeben (Abb.13).

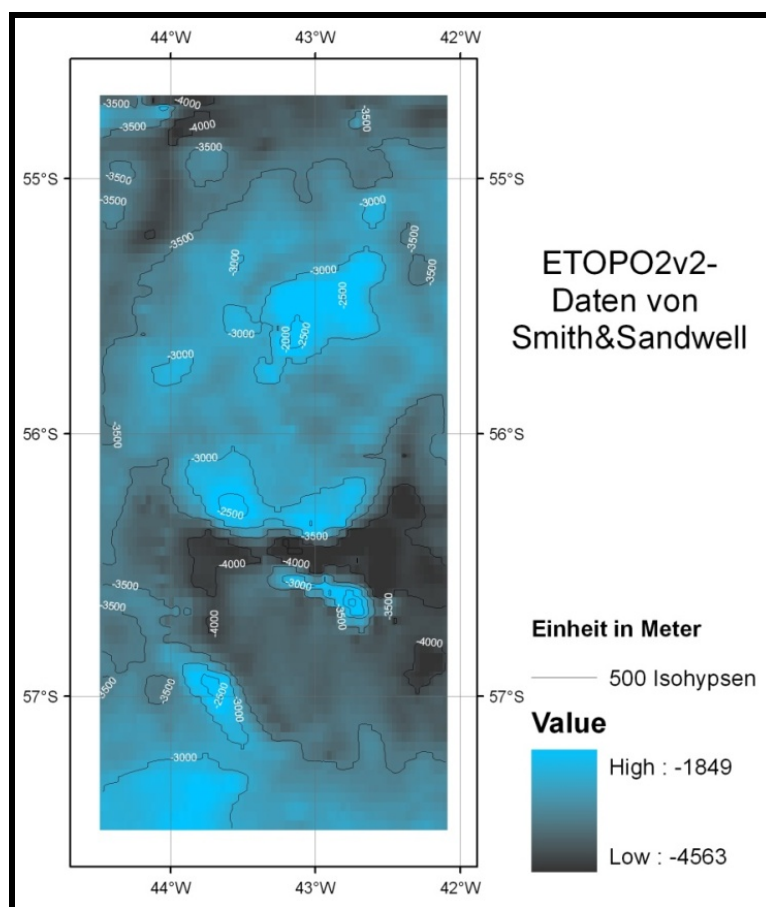


Abb.12 ETOPO2v2-Daten; Die identische Farbskalierung ermöglicht einen direkten Vergleich mit den Fächerecholot-Daten aus Abb.10.

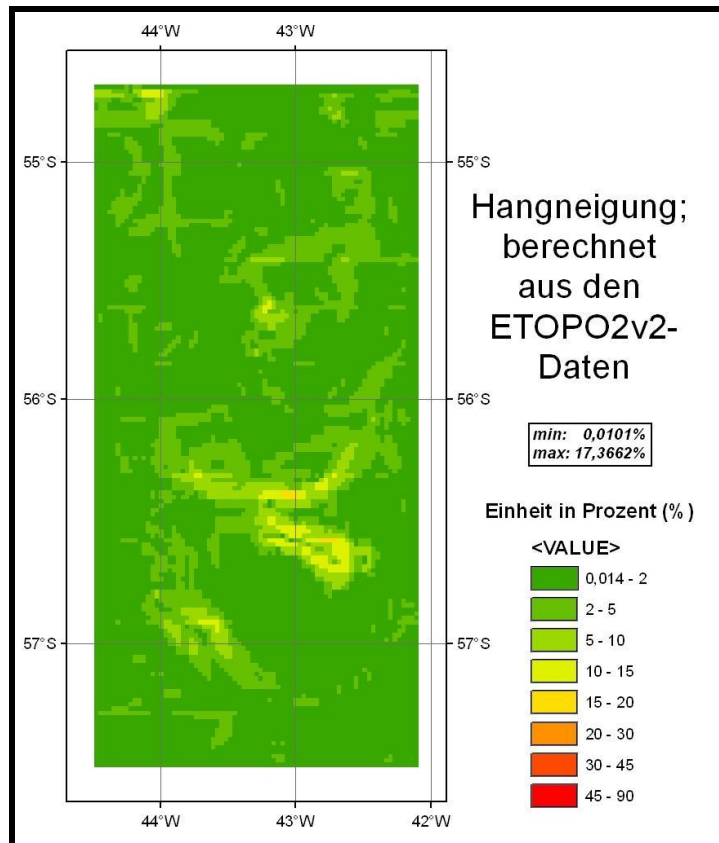


Abb.13 Hangneigung aus den Etopo2v2-Daten;
Die identische Farbskalierung ermöglicht einen direkten Vergleich mit den Fächerecholot-Daten aus Abb.11.

4.3 Transformation der Gravimetrie-Daten

Die von Smith&Sandwell zur Prädizierung der Bathymetrie benutzten Gravimetrie-Daten stellt das *Scripps Institution of Oceanography* (URL: http://topex.ucsd.edu/WWW_html/mar_grav.html) im Internet als ASCII-Datei bereit. Die Auflösung beträgt 1x1 Bogenminute¹.

¹ Dabei gibt es eine technische Schwierigkeit, die nicht unerwähnt bleiben sollte: Unter *Mozilla Firefox* kam es beim Herunterladen der Daten zu Problemen. Daher musste hier der *Microsoft Internet Explorer* benutzt und die Daten in einer *.cgi Datei (Dateiformat des Internet Explorers) zwischengespeichert werden. Diese Datei wurde mit dem Programm *Ultraedit* geöffnet. Eine (neue) erste Zeile wurde eingefügt und in diese „x y z“ eingetragen. Mit der Funktion *Suchen und Ersetzen* wurden alle Punkte (.) gesucht und durch Kommas (,) ersetzt. Dieses war aufgrund der deutschen Einstellung der Dezimalbruchstellen des PC notwendig, die ein Komma, anstatt eines Punktes verwendet.

Mit dem Tool „*ASCII 3D to Feature Class*“ (Anhang B, Abb.30) wurden Punktdaten erzeugt, wobei der zugehörige z-Wert dem Schwerewert in Milligal (mGal) entspricht. Die in einer geographisch-sphärischen (GCS_Sphere_EMEP) Projektion vorliegenden Punkte wurden mit dem Tool *Project* in Mercator-projizierte (WGS_1984) Punkte umgewandelt. Aus diesen Punkten wurde mit dem Tool *Create Tin From Feature* (Anhang B, Abb.38) ein „unregelmäßiges Dreiecksnetz“ (TIN) (engl. *Triangulation irregular network*) berechnet. Daraus wurde mit dem Tool „*TIN to Raster*“ (Anhang B, Abb.33, Abb.34) ein Raster erzeugt. Dieses Raster der Gravimetrie-Daten (Abb.14) hat die gleichen Eigenschaften (Zellgröße 200m), die gleichen Begrenzungen und den gleichen Ausschnitt (engl. *extent*) (Anhang, Abb.34) wie das Fächerecholot-Raster (Abb.10). Der z-Wert wurde als „Integer“ ausgegeben.

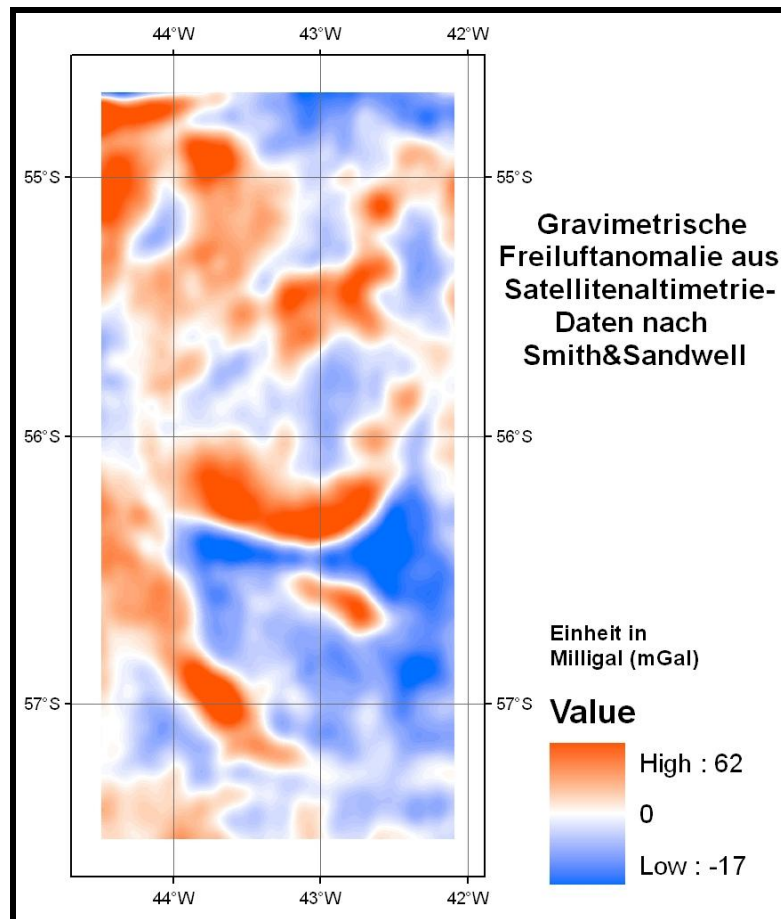


Abb.14 Darstellung der gravimetrischen Freiluftanomalie aus Satellitenaltimetrie-Daten nach Smith&Sandwell; *Positive Anomalien in Rot und negative Anomalien in Blau.*

5 Methoden der Datenanalyse

5.1 „Moving window“

Um eine flächendeckende Analyse der Daten zu ermöglichen, wurde die statistische „moving window“-Methode in ArcGIS durchgeführt. Nach ISAAKS&SRIVASTAVA (1989:90) basiert diese Methode auf der Zerlegung des gesamten Untersuchungsgebietes in viele gleich große Teilflächen, wobei die Rasterung innerhalb der einzelnen Teilflächen durchaus unterschiedlich sein darf. Teilflächen unterschiedlicher Rasterung, d.h. unterschiedlicher Zellgröße, lassen sich vergleichen, indem die statistischen Parameter für gleich große Teilfläche erhoben werden (Abb.15). In dieser Arbeit wurden die wichtigsten statistischen Parameter (Minimum, Maximum, Mittelwert und Standardabweichung) berechnet.

Für ein bestimmtes Gebiet lassen sich nun der Zusammenhang von Gravimetrie, ETOPO2v2 und Fächerecholot mit einer anschließenden Korrelationsanalyse numerisch ausdrücken und interpretieren, sowie die deskriptive Statistiken berechnen.

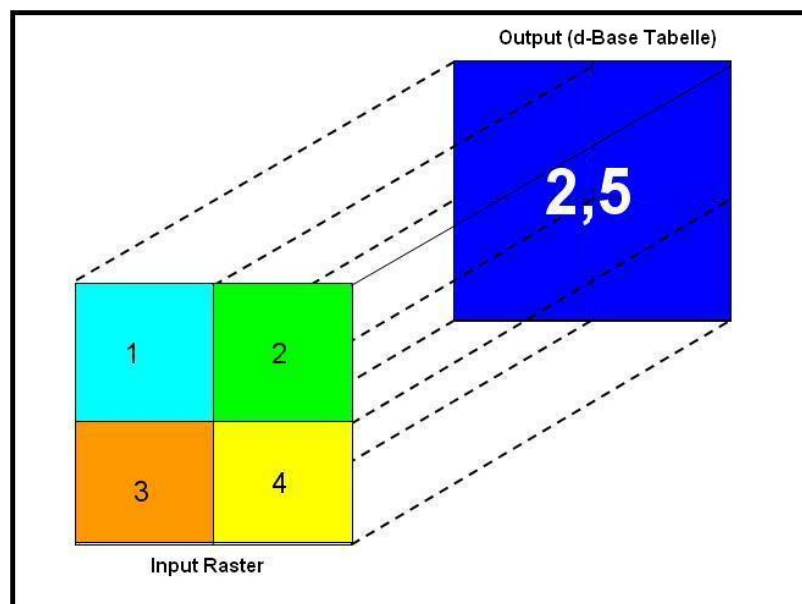


Abb.15 „moving window“ (EIGENE DARSTELLUNG). Bei der moving window-Methode werden aus den Input-Daten die statistischen Parameter für eine definierte Zellgröße errechnet und als Wert in einem neuen Output (d-Base Tabelle) gespeichert. Als Beispiel wurde hier der Mittelwert (z-Wert 2,5) aus vier Rasterzellen (z-Werte 1, 2, 3, 4) berechnet.

5.2 Zonale Statistiken für das Gesamtgebiet

Mit Hilfe des Tool *Zonal Statistics* (dtsch. = *zonale Statistiken*) (Anhang B, Abb.26) wurde die „moving window“-Methode durchgeführt. Als einheitliche Teilflächengröße für die Berechnung der zonalen Statistiken bietet es sich an, die Rastergröße der ETOPO2v2-Daten zu nehmen, um somit die gegebene Genauigkeit aus ETOPO2v2 zu nutzen.

Teilflächengröße und Rasterparameter wurden festgelegt:

- Zellgröße von 2000 Meter
- 158 Zeilen und 75 Spalten
- Deckungsgleichheit mit dem ETOPO2v2-Raster
- in jeder Rasterzelle einen unterschiedlichen Wert
- georeferenziert
- Mercator-Projektion

Ein Musterraster wurde mit diesen spezifischen Parametern erzeugt und verwendet (Kapitel 5.2.1). Dieses Raster wird im Folgenden als „Maske“ bezeichnet.

Die zonalen Statistiken wurden zunächst für das ETOPO2v2-Raster (Abb.12) und dann von dem ETOPO2v2-Hangneigungs-Raster (Abb.13) erhoben. Als *Zone Dataset* (Anhang B, Abb.26) wurde die „Maske“ gewählt. Als *value Raster* ist das Raster anzugeben, für das die statistischen Parameter berechnet werden sollen. Es wurden jeweils 11850 statistische Werte für Minimum, Maximum, Mittelwert und Standardabweichung berechnet.

Da das Raster „Maske“ aus insgesamt 11850 Pixeln besteht und in jeden dieser Pixel 100 Pixels aus dem Fächerecholot-Raster und aus dem Gravimetrie-Raster passen (alle Begrenzungen der Raster sind deckungsgleich), wurden im nächsten Berechnungsschritt für das Fächerecholot-Raster (Abb.10), das Fächerecholot-Hangneigungs-Raster (Abb.12) und das Gravimetrie-Raster (Abb.14) ebenfalls jeweils 11850 statistische Werte ermittelt.

Die zonalen Statistiken wurden als d-Base Tabelle gespeichert. Die d-Base Tabellen beinhalten jeweils 11850 Zeilen, womit ein Fehler bei der Erstellung der Maske bzw. der Berechnung der zonalen Statistiken ausgeschlossen werden kann.

5.2.1 Erstellung einer Maske für die „moving window“-Methode

Mit Hilfe der automatischen Rechenfunktion von Excel wurde eine Tabelle erstellt, die 75 Spalten und 158 Zeilen hat und jedes Feld einen unterschiedlichen Wert von 1 bis 11850 besitzt.

Zunächst erhält das Feld in der ersten Zeile/ersten Spalte den Wert 1. Das Feld der zweite Zeile/erste Spalte erhält den Wert 2, usw., bis die letzte Zeile 75 den Wert 158 hat (Anhang A, Abb.25). Danach wurde in der zweiten Spalte/erste Zeile der Wert 159 eingetragen. In der dritten Spalte/erste Zeile der Wert 317, usw., bis die letzte Spalte 158/ erste Zeile den Wert 11693 hat. Mit Hilfe von „Ziehen“ wurden nun die Datenreihen aufgefüllt.

Mit dem Programm Ultraedit wurde eine leere Datei erzeugt, die als Endung „.asc“ hat (und damit in ArcGIS als ASCII-Datei erkennbar ist). Die zuvor erstellte Excel-Tabelle wurde nun in die leere Datei kopiert. Um die ASCII-Datei (Maske) zu vervollständigen, wurde nun die Kopfzeile aus dem ETOPO2v2-Raster benötigt. Mit Hilfe des Tools *Raster to ASCII* (Anhang B, Abb.36) erfolgte eine Transformation des ETOPO2v2-Rasters in eine ASCII-Datei, in der die Kopfzeile gespeichert war. Nun kann diese Kopfzeile in die ASCII-Datei (Maske) eingefügt werden (Abb.16). Die so erzeugte und vervollständigte ASCII-Datei ist so quasi georeferenziert und kann mit dem Tool *ASCII to Raster* (Anhang B, Abb.37) in ein Raster umgewandelt werden (Abb.17).

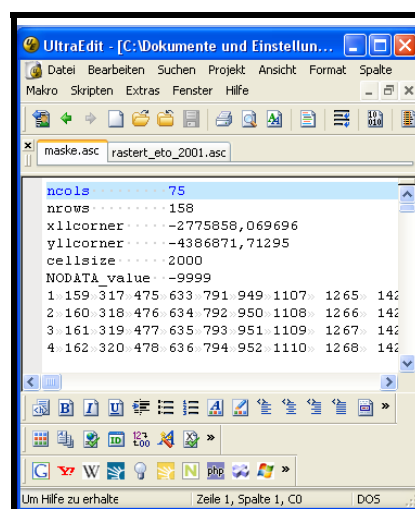


Abb.16 ASCII-Datei „Maske“: Kopfzeile und Teil der mit Excel erzeugten Tabelle.

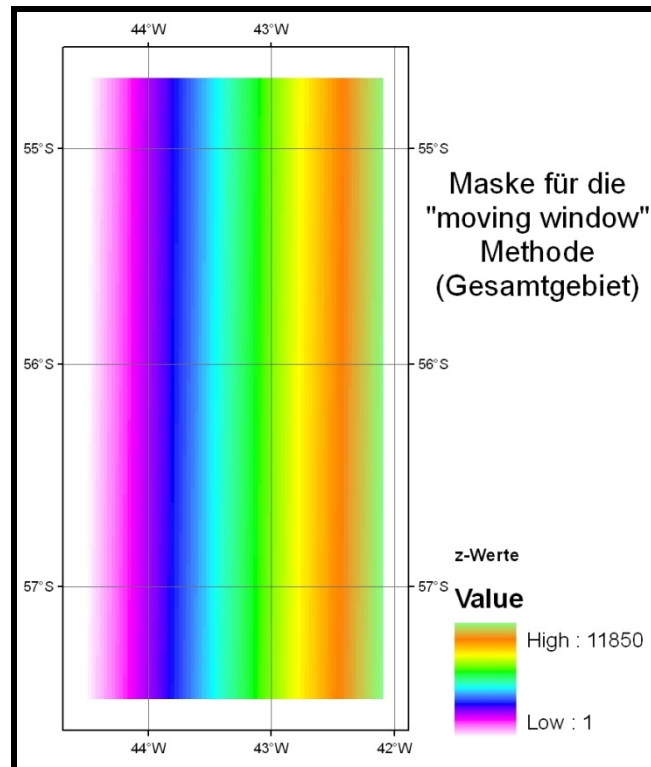


Abb.17 Raster „Maske“ für die „moving window“-Methode (Gesamtgebiet);
*Dieses Raster wurde als „zone dataset“ für das Tool „Zonal Statistics“
 verwendet. Jeder Pixel hat einen unterschiedlichen z-Wert (Integer).*

5.3 Zonale Statistiken von ausgewählten Teilgebieten

Um herauszufinden, ob ozeanische Bodenformen von den ETOPO2v2-Daten in der *Northern Peary Province* in Bezug auf Tiefe und Hangneigung richtig präzisiert werden, wurden im Untersuchungsgebiet vier Teilflächen ausgewählt, die im Folgenden mit dem Sammelbegriff „ausgewählte Gebiete“ bezeichnet werden.

Es wurden in dem ETOPO2v2-Raster solche Teilgebiete ausgewählt, die nach den Definitionen der GEBCO-Kommission (DIETRICH ET AL.1975) für die ozeanischen Bodenformen einer „Kuppenkette“, einem „Hang“, einem „Tal“ und einem „Sattel“ entsprechen (Abb.18). Diese Bezeichnungen sind kurz nach Beginn der damals jungen Theorie der Plattentektonik entstanden, so dass die Namensgebung noch keinen entsprechenden tektonischen Bezug hat.

Aus technischen Gründen und aufgrund der vorliegenden topographischen Konstellationen haben die Gebiete „Tal“, „Kuppenkette“ und „Hang“ eine extrem gestreckte Form und sind zu einander parallel angelegt (Abb.18). Die Gebiete sind in Ost-West Richtung angelegt, wodurch starke Inhomogenitäten in der Höhe

vermieden werden. Es wurde kein Nord-Süd Profil gewählt, da in dieser Richtung große Höhenunterschiede auftreten. Das Gebiet „Sattel“ ist fast quadratisch.

Um die zonalen Statistiken für die ausgewählten Gebiete berechnen zu können, wurden vier neue „Musterraster“ erzeugt (Kapitel 5.3.1). Die Ergebnisse sind in d-Base-Tabellen gespeichert.

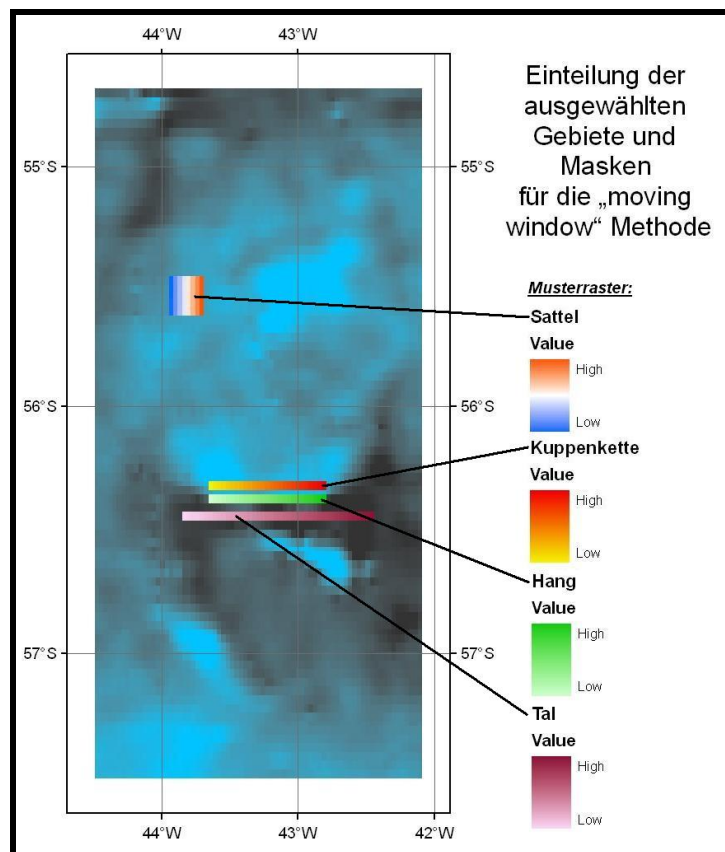


Abb.18 Musterraster für die ausgewählten Gebiete für die „moving window“-Methode; Die Auswahl der Teiluntersuchungsgebiete erfolgte unter Betrachtung des ETOPO2v2-Rasters, welches in dieser Abbildung im Hintergrund zu sehen ist. Die Farbskalierung ist für die Bathymetrie mit der in Abb.12 identisch.

5.3.1 Erstellung einer Maske für die „moving window“-Methode

In ArcCatalog wurden vier Polygon-Shapefiles (Mercator-Projektion) erzeugt. Mit Hilfe des Editors in ArcMap wurden für die ausgewählten Gebieten Rechtecke „aufgespannt“. Mit dem Tool *Polygon to Raster* (Anhang B, Abb.27) wurden die rechtwinkligen Polygonfelder gerastert, um anschließend mit dem Tool *Clip* (siehe unten), welches ein Raster (die z-Werte müssen als „Integer“ vorliegen) als Eingabe (*engl. Input*) benötigt, die ausgewählten Gebiete ausschneiden zu können. Mit dem

Tool *Clip* wurde aus dem Raster „Maske“ (Kapitel 5.2.1) für jedes Gebiet ein neues Musterraster erzeugt. Die vier Musterraster haben eine Zellgröße von 2000m, in der jede Zelle einen unterschiedlichen z-Wert besitzt (Abb.18).

5.4 Differenzbilder

Um die bathymetrischen Karten aus ETOPO2v2- und aus dem Fächerecholot zu vergleichen, wurde mit Hilfe des *Raster Calculator (Spatial Analyst)* (Anhang B, Abb. 40) aus beiden Rastern die Differenz gebildet. Von den z-Werten (d.h. den Tiefen) des Fächerecholot-Rasters (Abb.10) werden die z-Werte des ETOPO2v2-Rasters (Abb.12) abgezogen. Unter Verwendung einer geeigneten Klassifizierung lassen sich deutlich Unterschiede feststellen (Abb.19). Auf gleiche Weise wurde aus dem Fächerecholot-Hangneigungs-Raster (Abb.11) und dem ETOPO2v2-Hangneigungs-Raster (Abb.13) ein Differenzbild berechnet (Abb.20).

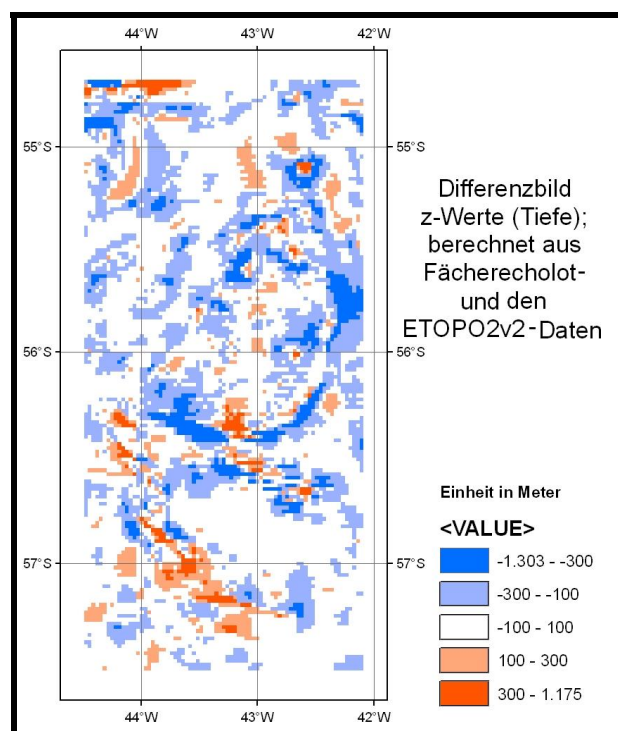


Abb.19 Differenzbild z-Werte (Tiefe); Dieses Raster wurde aus den Fächerecholot- und den ETOPO2v2 -Daten berechnet [Fächerecholot (Sollwert) minus ETOPO2v2 (Istwert)] Es zeigt deutlich in welchen Gebieten sich starke und geringe Unterschiede in den Tiefen beider Datensätze zeigen. Die Farbskalierung von Rot über Weiß nach Blau wurde gewählt, um positive (überprädizierte) und negative (unterprädizierte) Werte hervorzuheben.

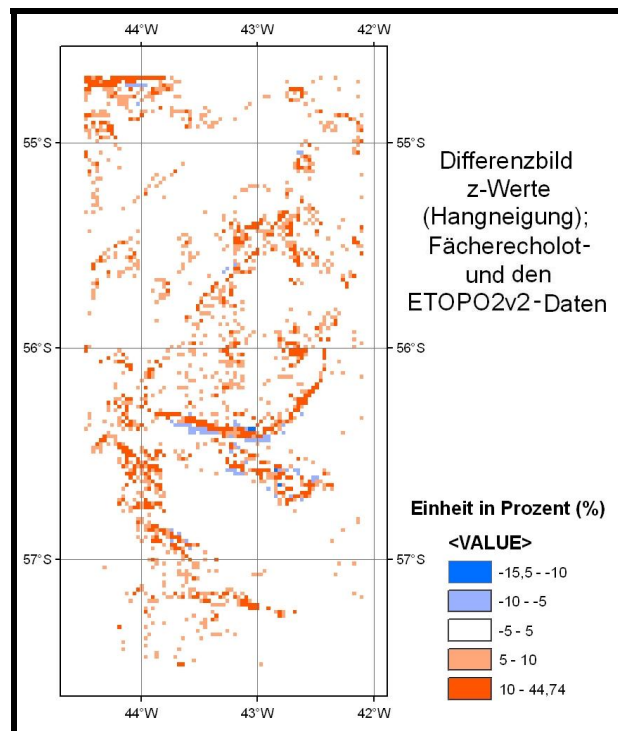


Abb.20 Differenzbild der Hangneigungs-Raster (z-Werte); Dieses Raster wurde aus den Fächerecholot- und den ETOPO2v2-Daten berechnet [Fächerecholot (Sollwert) minus ETOPO2v2 (Istwert)]. Die Farbskalierung von Rot über Weiß nach Blau wurde gewählt, um positive und negative Unterschiede in der Hangneigung hervorzuheben. Im gesamten Untersuchungsgebiet ist die berechnete Hangneigung aus den Fächerecholot-Daten fast ausschließlich höher als die berechnete Hangneigung aus den ETOPO2v2-Daten.

6. Statistische Ergebnisse

Für das Gesamtgebiet und die ausgewählten Gebiete wurden aus den zuvor gewonnenen d-Base-Tabellen (aus Kapitel 5) mit SPSS die deskriptiven Statistiken für die statistischen Parameter (Minimum, Maximum, Mittelwert und Standardabweichung) berechnet und der Produktmoment-Korrelationskoeffizient nach PEARSON gebildet. Die Standardabweichung misst die Streuung der Variablenwerte (BROSIOUS 2007:164). Sie kann somit als Maß für die Variabilität des Reliefs angesehen werden und somit eine quantitative Beschreibung der Rauigkeit der Topographie ermöglichen (JORDEN 2002).

Nach TRAUTH (2005:65) ist der PEARSONsche-Produktmoment-Korrelationskoeffizient, der am meisten verwendete Produktmoment-Korrelationskoeffizient. Er ist gegenüber dem SPEAMANSchen-Produktmoment-Korrelationskoeffizient, der auch häufig benutzt wird, weniger anfällig für „Ausreißer“. Diese können durchaus bei der Interpolation in den hier statistisch zu bearbeitenden Rastern entstehen. Der PEARSONsche-Produktmoment-Korrelationskoeffizient r und die Standardabweichung s wurden mit folgenden Formeln (6) (7) berechnet:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \cdot \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (6) \quad s = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum (x - \bar{x})^2} \quad (7)$$

Neben dem numerischen Ausdruck für den Korrelationskoeffizient kann dieser auch interpretiert werden (Tab.3) (BROSIOUS 2006). Im Folgenden wird der Korrelationskoeffizient entsprechend beschrieben.

Korrelationskoeffizient (r)	Verbale Beschreibung
0	keine Korrelation
0,0 – 0,2	sehr schwache Korrelation
0,2 – 0,4	schwache Korrelation
0,4 – 0,6	mittlere Korrelation
0,6 – 0,8	starke Korrelation
0,8 – <1	sehr starke Korrelation
1	perfekte Korrelation

Tab.3 Verbale Beschreibung des Korrelationskoeffizienten; nach BROSIOUS (2006)

6.1 Gesamtgebiet

6.1.1 Deskriptive Statistik

Das Untersuchungsgebiet wird im Durchschnitt durch die Fächerecholot-Daten gegenüber den ETOPO2v2-Daten um ca. 65m tiefer dargestellt (Tab.4)², was in etwa einer Abweichung von 2%³ der prädizierten Wassertiefe entspricht. Somit wird das Gebiet durch den ETOPO2v2-Datensatz „überprädiziert“ (wenn das Gegenteil der Fall ist, wird im Folgenden der Begriff „unterprädiziert“ verwendet). Die Standardabweichung vom Fächerecholot weicht nur um 6% von ETOPO2v2 ab. Der Mittelwert, Minimum und Maximum des Fächerecholots (dabei muss die Lage der Gebiete der minimalen und maximalen Tiefe beider Datensätze nicht gleich sein) haben niedrigere Werte als ETOPO2v2, d.h. diese Werte werden überprädiziert. Die Gravimetrie zeigt einen Mittelwert von 13,1 mGal mit einer Standardabweichung von 11,8. Die Schwereanomalien schwanken zwischen -16,5 und +59,3mGal.

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert/Index	Standardabweichung/Index
ETOPO2v2 Mittelwert	11850	-4563	-1849	-3412 (100%)	369,247 (100%)
Fächerecholot Mittelwert	11850	-4831	-2017	-3477 (102%)	390,484 (106%)
Gravimetrie	11850	-16,5	59,3	13,1	11,8

Tab.4 Deskriptive Statistik von ETOPO2v2, Fächerecholot und Gravimetrie

6.1.2 Korrelation der z-Werte von ETOPO2v2, Fächerecholot und Gravimetrie

Der Korrelationskoeffizient für die Fächerecholot-, ETOPO2v2- und Gravimetrie-Werte wurde berechnet. Aus Tab.5 ist zu entnehmen, dass zwischen ETOPO2v2 und dem Fächerecholot eine sehr starke Korrelation mit $r = ,912$ ($p < ,01$) besteht. Die Korrelation von ETOPO2v2 und der Gravimetrie ergab eine starke Korrelation von $,615$ ($p < ,01$). Ebenfalls eine starke Korrelation mit $r = ,627$ ($p < ,01$) ergibt die Korrelation von der Fächerecholot- und Gravimetrie.

² Die Minimum- und Maximum-Werte aus Tab.4 entsprechen nicht den Werten aus Abb.10, da hier Ergebnisse nach der „moving window“-Methode dargestellt sind. Somit werden Spitzenwerte aufgrund der Berechnung durch die zonalen Statistiken nicht mehr erfasst.

³ Der Wert wurde ermittelt, indem die ETOPO2v2 als 100% angesehen werden und daraus der prozentuale Anteil des Fächerecholots errechnet wird (siehe Index auf Tab.4).

		Fächerecholot Mittelwert	ETOP2v2 Mittelwert	Gravimetrie Mittelwert
Fächerecholot Mittelwert	Korrelation nach Pearson	1	,912(**)	,615(**)
	Signifikanz (2-seitig)		,000	,000
	N	11850	11850	11850
ETOP2v2 Mittelwert	Korrelation nach Pearson	,912(**)	1	,627(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,000		,000
	N	11850	11850	11850
Gravimetrie Mittelwert	Korrelation nach Pearson	,615(**)	,627(**)	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	
	N	11850	11850	11850

Tab.5 Korrelation von ETOP2v2, Fächerecholot und Gravimetrie; ** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

6.1.3 Deskriptive Statistik der Hangneigung

Bei der Betrachtung der deskriptiven Statistiken (Tab.6) der Hangneigung zeigen sich deutliche Unterschiede in dem Mittelwert, in der Standardabweichung und in den Minimum- sowie Maximum-Werten⁴. Das Fächerecholot weist im Durchschnitt für die Hangneigung mit 3,745% einen etwa doppelt so hohen Wert wie die ETOP2v2-Daten mit 1,744% auf. Ebenfalls ist das Maximum der gemittelten Hangneigung bei dem Fächerecholot mit 30,8% etwa doppelt so hoch wie bei der Errechnung aus dem ETOP2v2-Datensatz mit 17,4%. Auch die Standardabweichung und der Minimum-Wert sind beim Fächerecholot-Datensatz gegenüber dem ETOP2v2-Datensatz etwa doppelt so groß. Für beide Datensätze ist die Hangneigung im Minimum mit „flach“ und im Maximum mit „mittel“ gleich klassifiziert (Tab.2, Kapitel 2.7).

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert/ Index	Standardabweichung/ Index
ETOP2v2 Hangneigung Mittelwert	11850	,01013	17,3662	1,744 (100%)	1,841 (100%)
Fächerecholot Hangneigung Mittelwert	11850	,35023	30,8111	3,745 (215%)	3,686 (200%)

Tab.6 Deskriptive Statistik der Hangneigung von ETOP2v2 und Fächerecholot

⁴ Die Minimum- und Maximum-Werte aus Tab.6 entsprechen nicht den Werten aus Abb.11, da hier ebenfalls die Ergebnisse nach der „moving window“-Methode dargestellt sind.

6.1.4 Korrelation der Hangneigung von ETOPO2v2 und Fächerecholot

Aus der Korrelation der Hangneigung berechnet aus den ETOPO2v2- und Fächerecholot-Daten ergibt sich ein mittlere Korrelation mit $r = ,579$ ($p < ,01$) (Tab.7).

		ETOPO2v2 Hangneigung Mittelwert	Fächerecholot Hangneigung Mittelwert
ETOPO2v2 Hangneigung Mittelwert	Korrelation nach		
	Pearson	1	,579(**)
	Signifikanz (2-seitig)		,000
	N	11850	11850
Fächerecholot Hangneigung Mittelwert	Korrelation nach		
	Pearson	,579(**)	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	
	N	11850	11850

Tab.7 Korrelation der Hangneigung von ETOPO2v2 und Fächerecholot;

**** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.**

6.2 Ausgewählte Gebiete

6.2.1 Deskriptive Statistik

Alle Parameter aus den ausgewählten Gebieten haben Abweichungen, wobei kleine und große Unterschiede auftreten. Die geringste Abweichung des Mittelwertes findet sich an der „Kuppenkette“ mit 12m (unterprädiziert). Die größte Abweichung zeigt sich im „Tal“, in der im Mittel die prädizierte Tiefe um 92m höher gegenüber den Fächerecholot basierenden Tiefen ist (überprädiziert). Das „Tal“ hat die geringste Standardabweichung aller Teilgebiete. Am „Hang“ weicht der Mittelwert nur gering mit 18m (unterprädiziert) ab, wobei dagegen die Standardabweichungen beider Datensätze hoch sind und am stärksten voneinander abweichen. Die Standardabweichung aus den Fächerecholot-Daten ist hier mit 762 deutlich höher gegenüber den ETOPO2v2-Daten mit einer Standardabweichung von 298.

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert/Index	Standardabweichung/ Index
Kuppenkette ETOPO2v2	54	-3083	-2489	-2767 (100%)	157 (100%)
Kuppenkette Fächerecholot	54	-3334	-2219	-2755 (99,6%)	187 (119%)
Kuppenkette Gravimetrie	54	18,8	48,6	38,9	7,0
Sattel ETOPO2v2	72	-3299	-3087	-3186 (100%)	51 (100%)
Sattel Fächerecholot	72	-3364	-3080	-3219 (101%)	61 (119%)
Sattel Gravimetrie	72	11,3	21,2	16,5	2,7
Hang ETOPO2v2	54	-3665	-2565	-3279 (100%)	298 (100%)
Hang Fächerecholot	54	-4407	-2019	-3261 (99%)	762 (256%)
Hang Gravimetrie	54	-8,2	41,6	20,3	13,9
Tal ETOPO2v2	88	-4563	-3947	-4190 (100%)	157 (100%)
Tal Fächerecholot	88	-4591	-3963	-4282 (102%)	175 (111%)
Tal Gravimetrie	88	-16,5	2,5	-9,5	4,5

Tab.8 Deskriptive Statistik der ausgewählten Gebiete von ETOPO2v2, Fächerecholot und Gravimetrie

6.2.2 Korrelation der z-Werte von ETOPO2v2, Fächerecholot und Gravimetrie

Der Korrelationskoeffizient für die „Kuppenkette“ zeigt für das Fächerecholot und die Gravimetrie einen mittleren Zusammenhang mit $r = ,510$ ($p < ,01$) (Tab.9). Die Fächerecholot- und ETOPO2v2-Daten mit $r = ,231$ (nicht signifikant), sowie die Gravimetrie und das Fächerecholot mit $r = ,305$ ($p < ,05$) haben eine schwache Korrelation.

		Kuppenkette ETOPO2v2	Kuppenkette Fächerecholot	Kuppenkette Gravimetrie
Kuppenkette ETOPO2v2	Korrelation nach Pearson	1	,231	,305(*)
	Signifikanz (2-seitig)		,092	,025
	N	54	54	54
Kuppenkette Fächerecholot	Korrelation nach Pearson	,231	1	,510(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,092		,000
	N	54	54	54
Kuppenkette Gravimetrie	Korrelation nach Pearson	,305(*)	,510(**)	1
	Signifikanz (2-seitig)	,025	,000	
	N	54	54	54

Tab.9 Korrelation „Kuppenkette“ von ETOPO2v2, Fächerecholot und Gravimetrie; * Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant. ** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Eine schwache gegenläufige Korrelation für den „Sattel“ besteht zwischen Fächerecholot und ETOPO2v2 mit $r = -.211$ (nicht signifikant) sowie zwischen ETOPO2v2 und Gravimetrie mit $r = -.231$ (nicht signifikant) (Tab.10). Eine sehr schwache Korrelation haben die Gravimetrie und Fächerecholot-Daten mit $r = ,185$ (nicht signifikant).

		Sattel ETOPO2v2	Sattel Fächerecholot	Sattel Gravimetrie
Sattel ETOPO2v2	Korrelation nach Pearson	1	-,211	-,231
	Signifikanz (2-seitig)		,075	,051
	N	72	72	72
Sattel Fächerecholot	Korrelation nach Pearson	-,211	1	,185
	Signifikanz (2-seitig)	,075		,121
	N	72	72	72
Sattel Gravimetrie	Korrelation nach Pearson	-,231	,185	1
	Signifikanz (2-seitig)	,051	,121	
	N	72	72	72

Tab.10 Korrelation „Sattel“ von ETOPO2v2, Fächerecholot und Gravimetrie

Der Korrelationskoeffizient für den „Hang“ beschreibt eine mittlere Korrelation für die Gravimetrie- und ETOPO2v2-Daten mit $r = ,460$ ($p < ,01$) (Tab.11). Das Fächerecholot- und die ETOPO2v2-Daten haben eine schwache Korrelation mit $r = ,278$ ($p < ,05$) (Tab.11). Einen auffällig sehr starken Zusammenhang haben die Gravimetrie- und Fächerecholot-Daten mit $r = ,941$ ($p < ,01$).

		Hang ETOPO2v2	Hang Fächerecholot	Hang Gravimetrie
Hang ETOPO2v2	Korrelation nach Pearson	1	,278(*)	,460(**)
	Signifikanz (2-seitig)		,042	,000
	N	54	54	54
Hang Fächerecholot	Korrelation nach Pearson	,278(*)	1	,941(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,042		,000
	N	54	54	54
Hang Gravimetrie	Korrelation nach Pearson	,460(**)	,941(**)	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	
	N	54	54	54

Tab.11 Korrelation „Hang“ von ETOPO2v2, Fächerecholot und Gravimetrie; *Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant. **Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Die Korrelationskoeffizienten für das „Tal“ beschreiben eine starke Korrelation von Gravimetrie und ETOPO2v2 mit $r = -.639$ ($p < ,01$) (Tab.12). Ebenfalls eine starke Korrelation haben die Fächerecholot und ETOPO2v2-Daten mit $r = ,759$ ($p < ,01$). Die Korrelation von Gravimetrie und Fächerecholot ergab einen negativ starken Korrelationskoeffizienten mit $r = -,739$ ($p < ,01$).

		Tal ETOPO2v2	Tal Fächerecholot	Tal Gravimetrie
Tal ETOPO2v2	Korrelation nach Pearson	1	,759(**)	-,639(**)
	Signifikanz (2-seitig)		,000	,000
	N	88	88	88
Tal Fächerecholot	Korrelation nach Pearson	,759(**)	1	-,739(**)
	Signifikanz (2-seitig)	,000		,000
	N	88	88	88
Tal Gravimetrie	Korrelation nach Pearson	-,639(**)	-,739(**)	1
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	
	N	88	88	88

Tab.12 Korrelation „Tal“ von ETOPO2v2, Fächerecholot und Gravimetrie; ** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

6.2.3 Deskriptive Statistik der Hangneigung

Alle ermittelten Hangneigungen aus auf Fächerecholot basierenden Daten sind immer größer gegenüber der ermittelten Hangneigung aus dem ETOPO2v2-Datensatz (Tab.13). Die verhältnismäßig größte Abweichung findet sich am „Sattel“. Hier ist die Fächerecholot basierende Hangneigung fast dreimal so groß gegenüber dem prädierten Wert. Der geringste Unterschied zeigt sich im „Tal“, wo die Fächerecholot basierende Hangneigung nur 1,36mal größer ist. Sowohl bei den ETOPO2v2-Daten, als auch bei den Fächerecholot-Daten treten starke Abweichungen in den Minimum- und Maximum-Werten auf. Im Mittelwert des Teilgebietes „Hang“ unterscheidet sich die Hangneigungsklasse (Tab.2, Kapitel 2.7). Sie wird aus dem Fächerecholot mit „mittel“ und aus ETOPO2v2 mit „flach“ beschrieben.

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- Abweichung/Index
Kuppenkette Hangneigung ETOPO2v2	54	0,3749	8,655	3,354 (100%)	1,804 (100%)
Kuppenkette Hangneigung Fächerecholot	54	2,496	20,476	7,066 (211%)	3,846 (213%)
Sattel Hangneigung ETOPO2v2	72	0,2922	1,595	0,7695 (100%)	0,298 (100%)
Sattel Hangneigung Fächerecholot	72	0,8113	4,404	2,088 (271%)	0,835 (280%)
Hang Hangneigung ETOPO2v2	54	2,207	17,308	8,786 (100%)	3,356 (100%)
Hang Hangneigung Fächerecholot	54	1,562	30,811	14,651 (167%)	9,006 (268%)
Tal Hangneigung ETOPO2v2	88	0,0865	7,605	2,499 (100%)	2,075 (100%)
Tal Hangneigung Fächerecholot	88	0,5108	13,824	3,389 (135%)	2,608 (136%)

Tab.13 Deskriptive Statistik der Hangneigung von ETOPO2v2 und Fächerecholot

6.3 Direkter Vergleich

6.3.1 Vergleich der z-Werte (Tiefenwerte)

Im Folgenden Kapitel beziehen sich Bezeichnungen wie Kuppenketten, „Hang“, etc. auf das ETOPO2v2-Raster. Sie entsprechen somit nicht genau den ozeanischen Bodenformen, wie sie sich im Fächerecholot-Raster darstellen, sondern dienen hier lediglich der leichteren Orientierung während der Beschreibung.

Bei der vergleichenden Betrachtung der Raster (Abb.19) werden deutliche Abweichungen bis zu ca. 1300m sichtbar. Stark positive und negative Abweichungen sind nicht über das Gebiet statistisch verteilt, sondern tauchen in lokalen Konzentrationen auf. Insgesamt sind bei der Gesamtbetrachtung mehr negative (blau), als positive Werte (rot) zu erkennen, d.h. die ETOPO2v2-Daten stellen gegenüber den gemessenen Werten eine erhöhte Topographie (geringere Meerestiefe) dar, d.h. sie werden generell „überprädiziert“. Dieser Eindruck wird durch die deskriptive Statistik (Kapitel 6.1.1) bestätigt. Eine Ausnahme findet sich im südlichen Bereich um 57°S/43,5°W, mit einer stark positiven Abweichung, d.h. hier wird das Gebiet durch die ETOPO2v2-Daten „unterprädiziert“.

Im mittleren Nordosten um 55,7°S/42,3°W befindet sich eines der stärksten überprädizierten Gebiete. Ein weiteres auffälliges Gebiet liegt mittig im Untersuchungsgebiet um 56,3°S/43,5°W (es liegt zwischen den Gebieten „Kuppenkette“ und „Hang“ (Abb.18)): Es weist eine stark positive Abweichung auf, die an beiden Seiten von stark negativen Abweichungen flankiert wird. Am

nordwestlichen Rand des Untersuchungsgebietes, um $54,7^{\circ}\text{S}/44,1^{\circ}\text{W}$, zeigt sich eine positive Abweichung.

Nach SCHENKE&ZENK (2006) befinden sich im Nordosten submarine Vulkane. Bei $55,2^{\circ}\text{S}/42,7^{\circ}\text{W}$ ist eine stark positive Abweichung ringförmig umgeben von negativen Abweichungen, was auf einen submarinen Vulkan hindeuten könnte.

Die geringsten Unterschiede zwischen prädierten und gemessenen Werten (mit Abweichungen von nur -100m bis +100m) zeigen sich im mittleren südlichen Teil um $56,7^{\circ}\text{S}/43^{\circ}\text{W}$. Es ist nach dem Fächerecholot-Raster ein Gebiet mit geringen Höhenunterschieden in ca. 3800m Tiefe, das nach der GEBCO-Konvention als Ebene zu bezeichnen ist (DIETRICH ET AL. 1975).

6.3.2 Vergleich der Hangneigung

Bei der Betrachtung des Differenzbildes der Hangneigungen lassen sich deutliche Unterschiede erkennen (Abb.20). Die Abweichungen in den Steigungen schwanken zwischen +45% bis -15%. Es tauchen Variationen innerhalb der Hangneigungsklassen von „flach“, „mittel“ und „steil“ (Tab.2, Kapitel 2.7) auf. Auffällig ist, dass hauptsächlich positive Abweichungen über 10% vorkommen und nur vereinzelt negative Abweichungen bis zu -15% auftauchen. Letztere befinden sich im ausgewählten Gebiet „Hang“. Die stärksten Abweichungen finden sich gehäuft, sowohl positiv, als auch negativ, in Bereichen von starkem Gefälle (große Höhenunterschiede). Insbesondere im Gebiet zwischen den Gebieten „Kuppenkette“ und „Hang“ sind deutlich stark positive Abweichungen erkennbar. Ebenfalls zeigt sich eine stark positive Abweichung im nordwestlichen Rand des Untersuchungsgebiets um $54,7^{\circ}\text{S}/44,1^{\circ}\text{W}$. In der Gesamtbetrachtung sind die Abweichungen zwischen -5% bis +5% am häufigsten. Im Gebiet der Ebene (Kapitel 6.3.1) sind die Abweichungen am geringsten.

7 Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse hinsichtlich ihrer Aussagekraft diskutiert. Zunächst sollen mögliche Fehler bei der Raster-Interpolation der bathymetrischen Datensätze behandelt werden. Anschließend werden die Korrelationen und die Differenzbilder hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit in der Bathymetrie diskutiert. Abschließend sollen Aussagen zur Verwendbarkeit der Hangneigungsberechnung aus dem prädierten ETOPO2v2-Datensatz gemacht werden.

7.1 Mögliche Fehler bei der Interpolation der Datensätze

Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob die in dieser Arbeit verwendete Interpolationsmethode der Datensätze geeignet war. Generell werden bei der Interpolation von bathymetrischen Daten sehr komplexe Verfahren verwendet. Aufgrund der für eine Bachelorarbeit begrenzten Zeit, wurde hier ein einfacheres, aber der Problemstellung dennoch angemessenes Verfahren ausgewählt. Die Wahl der Interpolation hat Auswirkungen auf die anschließende Berechnung der Hangneigung.

Es wurde aus den Fächerecholot-Punktdaten ein Raster mittels eines TIN berechnet. Die Differenz zwischen Fächerecholot-IDW und Fächerecholot-TIN [IDW minus TIN] zeigt Abweichungen bis zu 220m (Anhang C, Abb.41). Bei der Berechnung der Hangneigung aus dem TIN wurden Steigungen bis zu 135% erreicht (Anhang C, Abb.43), was in etwa dem 2,5fachen Wert aus dem IDW-Raster (Abb.11) mit einer max. Steigung von 53% entspricht. Nach SCHENKE&ZENK (2006:25) sind am Gebiet „Hang“ Hangneigungen von bis zu 70% vorhanden. Daher ist das Interpolationsverfahren IDW besser geeignet als das TIN⁵.

Da die vom *Scripps Institution of Oceanography* bereitgestellten Gravimetrie-Daten bereits von Messfehlern bereinigt worden sind, wurde eine Methode zur Interpolation gewählt, die die Ausgangsdaten so wenig wie möglich verfälscht. Im Gegensatz zum IDW, bei dem die Daten geglättet werden (Kapitel 4.1), bleiben beim TIN die Ausgangsdaten erhalten.

⁵ Detaillierte Betrachtungen zur Interpolation von bathymetrischen Datensätzen finden sich in Diplomarbeiten, die am AWI erstellt worden sind (z.B. GAUGER 2002).

7.2 Korrelationen der Datensätze und Differenzbilder

Es soll überprüft werden, ob bei der Korrelation der Datensätze Fehler gemacht wurden und in wie fern die Ergebnisse der Korrelationsanalyse für bathymetrische Fragenstellungen verwendbar sind. Auch muss untersucht werden, ob die Differenzbilder für geologische/geophysikalische Interpretation zulässig sind.

Durch die Festlegung gleicher Begrenzungen für alle Raster-Datensätze (Deckungsgleichheit) konnten Fehler bei der „moving window“-Methode ausgeschlossen und die Vergleichbarkeit gewährleistet werden. Bei der Berechnung der zonalen Statistiken für das Gesamtgebiet und für die ausgewählten Gebiete wurde jeweils die gleiche Anzahl von Werten verwendet.

In Tabelle 14 sind die Korrelationskoeffizienten zwischen den verschiedenen Datensätzen für die ausgewählten Gebiete (repräsentativ für die unterschiedlichen ozeanischen Bodenformen) und für das Gesamtgebiet zusammengefasst.

(Teil-) Gebiet	Korrelationskoeffizient (Fächerecholot und ETOPO2v2)	Qualitative Aussage	Korrelationskoeffizient (Fächerecholot und Gravitation)	Aussage	Differenz in Meter / Index (Fächerecholot minus ETOPO2v2)	Differenz der Standardabweichung / Index (Fächerecholot minus ETOPO2v2)	Qualitative Aussage
Hang	,279 (*)	sehr schwache Korrelation	,941 (**)	sehr starke Korrelation	-18 (\approx -1%)	464 (19%)	prädizierte Tiefe niedriger als gemessene Tiefe (unterprädiziert)
Kuppenkette	,231 (*)	sehr schwache Korrelation	,51 (**)	mittlere Korrelation	-12 (\approx -0,4%)	30 (19%)	prädizierte Tiefe niedriger als gemessene Tiefe (unterprädiziert)
Sattel	-,211 (negativ) (nicht signifikant)	gegenläufige sehr schwache Korrelation	,185 (nicht signifikant)	sehr schwache Korrelation	33 (\approx 1%)	10 (156%)	prädizierte Tiefe höher als gemessene Tiefe (überprädiziert)
Tal	,759 (**)	starke Korrelation	-,739 (**) (negativ)	gegenläufige starke Korrelation	92 (\approx 2%)	18 (11%)	prädizierte Tiefe höher als gemessene Tiefe (überprädiziert)
Gesamtgebiet	,912 (**)	sehr starke Korrelation	,615 (**)	starke Korrelation	65 (\approx 2%)	21,24 (6%)	prädizierte Tiefe höher als gemessene Tiefe (überprädiziert)

Tab.14 Korrelationskoeffizienten und deren Bedeutung für das Gesamtgebiet und die ausgewählten Gebiete; *Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

**Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Für die Gebiete „Hang“, „Kuppenkette“ und „Sattel“ (blauer Rahmen in Tab.14) lässt sich die Tendenz erkennen, dass ein Zusammenhang (wie in Kapitel 2.6 erläutert) zwischen den Korrelationskoeffizienten aus Fächerecholot und Gravimetrie einerseits und den gemittelten Tiefendifferenzen aus Fächerecholot und ETOPO2v2 [Fächerecholot minus ETOPO2v2] andererseits besteht. Je geringer die Korrelation von Fächerecholot und Gravimetrie, desto tiefer wird die Topographie aus ETOPO2v2 präzisiert.

Obwohl hier eine „richtige“ Tendenz erkannt wurde, an sich ein positives Ergebnis, darf dieses Ergebnis aufgrund der geringen Stichproben nicht verallgemeinert werden. Ohnehin kann der Korrelationskoeffizient keine Kausalität erklären, er belegt lediglich einen Zusammenhang (SPSS GMBH SOFTWARE 1993:325).

Betrachtet man einen Profilschnitt durch das Gebiet „Tal“, so zeigt sich, dass die Gravimetrie einen konvexen Bogen bildet, während sich im gleichen Profilschnitt für das Fächerecholot ein konkaver Bogen bildet (Abb.21). Es zeigt sich hier also eine gegenteilige Abhängigkeit zwischen Gravitation und gemessener Topographie mit $r = -0.739$ ($p < 0.05$). Nach den Überlegungen aus Kapitel 2.6 kann dies nur mit einer mächtigen, an den Seiten angelagerten Sedimentschicht erklärt werden.

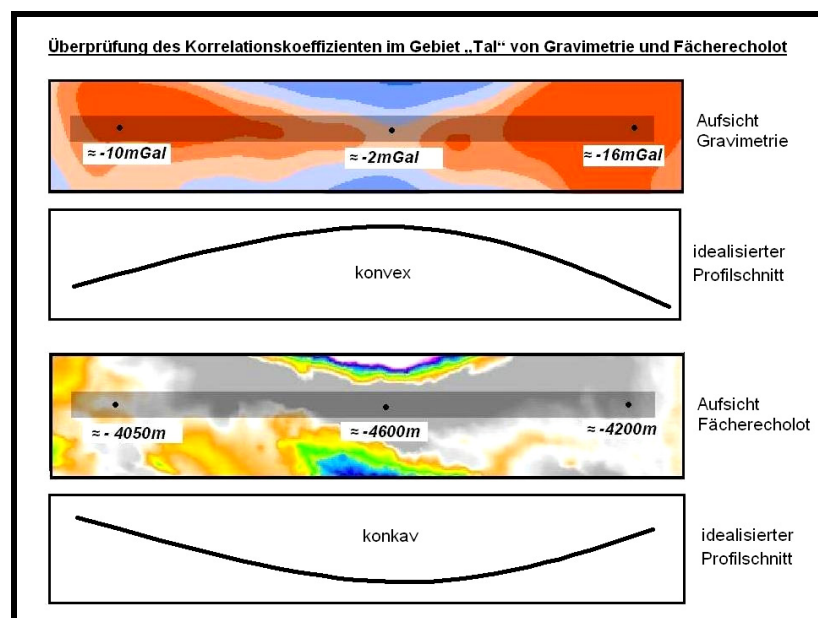


Abb.21 Überprüfung des Korrelationskoeffizienten im Gebiet „Tal“ von Gravimetrie und Fächerecholot; das Gebiet „Tal“ ist grau unterlegt. Es liegt eine gegenteilige Abhängigkeit von Gravimetrie und Fächerecholot vor. Die Farbskalierungen sind willkürlich gewählt und dienen lediglich der Verdeutlichung der lokalen Verhältnisse.

Im Gesamtgebiet zeigt sich eine sehr starke Korrelation von Fächerecholot und ETOPO2v2 mit $r = ,941$ ($p < ,05$), so dass nach diesem Kriterium der ETOPO2v2-Datensatz für gut bewertet wird. Jedoch zeigen sich auch deutlich lokale Abweichungen von -1303m bis +1175m in den Tiefen. Zudem wird die Topographie aus ETOPO2v2 wesentlich unschärfer dargestellt, so dass diese Bewertungskriterien eher negativ ausfallen.

Der Mittelwert aus der Fächerecholot ermittelten Wassertiefe weicht für das Gesamtgebiet nur um 2% von der ETOPO2v2 ermittelten Wassertiefe ab. Die Variabilität der Topographie (beschrieben durch die Standardabweichung, Kapitel 6) des Gesamtgebietes des Fächerecholots unterscheidet sich nur um 6% von dem Wert aus ETOPO2v2. Die Qualität der ETOPO2v2-Daten kann damit als gut angesehen werden. In den ausgewählten Teilgebieten fallen die prozentualen Abweichungen der Wassertiefen niedriger bzw. gleich aus, dagegen sind die Standardabweichungen hier größer.

Bei der Betrachtung der Differenzbilder beider Datensätze lassen sich deutlich Bereiche erkennen, in denen negative als auch positive Abweichungen konzentriert auftauchen. Diese Differenzbilder unterstützen geologische und geophysikalische Interpretationen. Es ist anzunehmen, dass die Wahl der Interpolationsmethode für die Fächerecholot-Daten keinen großen Einfluss bei der späteren Differenzbildung hat, da die Abweichungen in den Tiefen zwischen Fächerecholot und ETOPO2v2 generell sehr groß sind und somit Gebiete mit gehäuften (positiven oder negativen) Abweichungen dennoch ausgemacht werden können. Um dies zu überprüfen, wurde ein Differenzbild aus auf einem TIN basierenden Fächerecholot-Raster und aus dem ETOPO2v2-Raster erstellt [Fächerecholot TIN minus ETOPO2v2] (Anhang C, Abb.42). Durch Verwendung der identischen Klassifizierung aus Abb.19 lassen sich die Raster visuell miteinander vergleichen. Der Unterschied zwischen Abb.19 und Abb.42 ist kaum feststellbar.

Die Korrelation des Gesamtgebietes deckt sich im Wesentlichen mit der von SANDWELL ET AL. (2001) (Anhang C, Abb.46), wobei die Datengrundlage eine andere sein muss, da der hier verwendete Datensatz damals noch nicht vorhanden war.

Dennoch müssen alle bisher gemachten Schlussfolgerungen aufgrund der immer noch zu geringen Anzahl der Stichproben kritisch betrachtet werden.

7.3 Die Hangneigung beider Datensätze im Vergleich

Die Frage nach der Verwendbarkeit der aus ETOPO2v2 berechneten Hangneigung für submarine geomorphologische Anwendungen wird im Folgenden diskutiert.

In den berechneten Hangneigungen beider Datensätze sind große Unterschiede festzustellen. Die aus dem Fächerecholot berechneten Hangneigungen weisen gegenüber den berechneten Hangneigungen aus ETOPO2v2 im Mittel für das Gesamtgebiet doppelt so hohe Werte (Kapitel 6.2.3) auf. Allerdings gibt es lokal große Unterschiede, wie es das Differenzbild zeigt (Abb.20). Große Unterschiede zeigen sich dort, wo auch große Höhenunterschiede in dem Relief sind. Diese Gebiete sind vom besonderen Interesse, da hier aufgrund größerer Hangneigungen auch größere Hanginstabilitäten nach der „infinite Slope“ Theorie zu erwarten sind. Es werden für die Hangneigungen in Gebieten großer Höhendifferenzen überwiegend zu geringe Steigungen berechnet, so dass die berechnete Hangneigung aus ETOPO2v2 als qualitativ schlecht zu bewerten ist.

Beim Vergleich beider Hangneigungs-Raster (Abb.11 und Abb.13) lassen sich durch das ETOPO2v2-Raster im Gegensatz zum Fächerecholot-Raster kaum Gebiete erkennen, in denen eindeutig sehr starke Hangneigungen auftauchen. In beiden Rastern überwiegen Gebiete mit geringen Hangneigungen von 0% - 5%. Zur gleichen Einschätzung bezogen auf die Daten aus dem Fächerecholot kommt SCHENKE&ZENK (2006).

Nach BRUNSDEN ET AL. (1984:429) treten tatsächlich die meisten Hangrutschungen bei geringen Hangneigungen unter 9% auf. Geringe Hangneigungen von 1% reichen bereits aus, damit es zu Hangrutschungen kommen kann.

Der Korrelationskoeffizient $r = ,579$ ($p < ,01$) der Hangneigung beschreibt für das Gesamtgebiet eine mittlere Korrelation beider Datensätze, die gegenüber der qualitativ schlechten Beurteilung, die aus der deskriptiven Statistik hervorgeht, eine Verbesserung für die Gesamtbewertung der berechneten Hangneigung aus ETOPO2v2 bedeutet.

Insgesamt ist bei der Verwendung von ETOPO2v2-Daten in der submarinen Geomorphologie in Bezug auf die Berechnung von Hangneigungen äußerste Vorsicht geboten, allenfalls könnten sie für eine qualitative Beschreibung genutzt werden.

8 Zusammenfassung

Es wurden Fächerecholot-Daten, prädizierte bathymetrische Daten (ETOPO2v2), sowie gravimetrische Daten, die zur Prädizierung der ETOPO2v2-Daten benutzt wurden, im Gebiet des Scotia Meeres mit geostatistischen Methoden untersucht. Einige Grundlagen zur Erhebung der verwendeten Daten wurden beschrieben. Die Beschaffung, Transformation und Interpolation der Datensätze wurden ausführlich dokumentiert. Abb.22 veranschaulicht die drei Datensätze in überhöhter Darstellung. Die Datenanalyse erfolgte mit der „moving window- Methode unter Verwendung von ArcGIS und SPSS. Die Ergebnisse wurden diskutiert und bewertet.

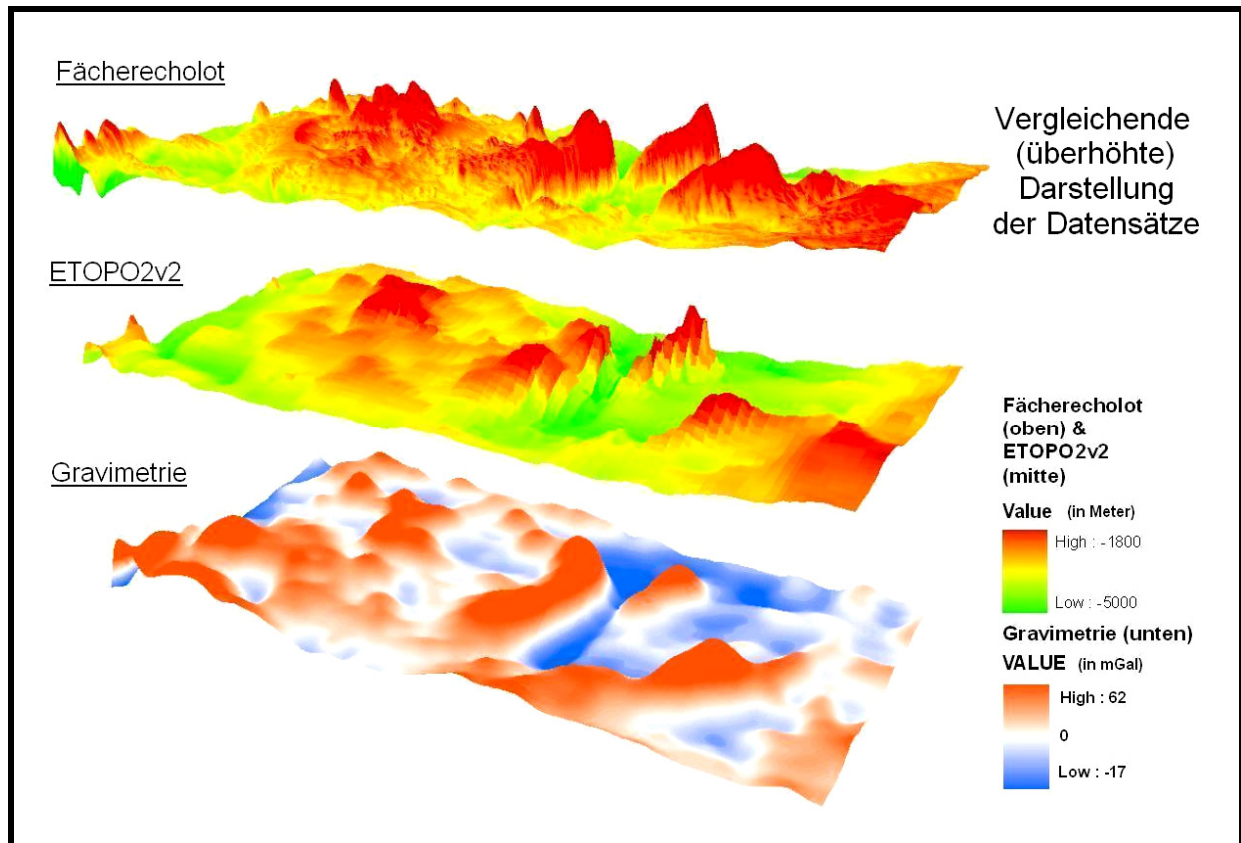


Abb.22 Vergleichende Darstellung der Datensätze; Oben: Fächerecholot-Raster (15fach überhöhter z-Wert), mittig: ETOPO2v2-Raster (15fach überhöhter z-Wert), unten: Gravimetrie-Raster (435,5fach überhöhter z-Wert). Die 3D-Visualisierung erfolgte mit ArcScene (ArcGIS). Die grün-gelb-rote Farbskala wurde gewählt, da hier eine gängige bathymetrische Farbskala das Relief nicht deutlich genug hervorhebt. Die z-Werte des Gravimetrie-Rasters (Freiluftanomalie) wurden mit dem Faktor 435,5 überhöht, um einen direkten Vergleich der Karten zu ermöglichen. Die Überhöhung wurde wie folgt ermittelt: $6800 \text{ (max. Tiefe)} / 15 \text{ (Überhöhung von ETOPO2v2 und Fächerecholot)} \approx 435,5$.

Für das Gesamtgebiet errechnet sich eine sehr starke Korrelation der Daten zwischen Fächerecholot und ETOPO2v2 mit $r = ,941$ ($p < ,01$).

Es wurde die Nutzbarkeit des Korrelationskoeffizienten von Fächerecholot und Gravimetrie in Bezug auf relative Abschätzungen von Sedimentmächtigkeiten dargelegt. Für das Gesamtgebiet ergab sich hierfür ein mittlerer Zusammenhang mit $r = ,615$ ($p < ,01$), der auch von SANDWELL ET AL. (2001) für dieses Gebiet ermittelt wurde (Anhang C, Abb.46).

In ausgewählten Teilgebieten, die nach dem ETOPO2v2-Raster typische ozeanische Bodenformen beschreiben, wurde der Zusammenhang zwischen Korrelationskoeffizient aus Fächerecholot und Gravimetrie einerseits und den gemittelten Tiefendifferenz aus Fächerecholot und ETOPO2v2 andererseits untersucht. Es konnte eine gradlinige Tendenz beobachtet, jedoch aufgrund der geringen Anzahl von Stichproben nicht weiter untersucht werden.

Da der Korrelationskoeffizient lediglich den Zusammenhang beider Datensätze beschreibt und keine Aussage über die parametrischen Differenzen von individuellen Datenpaaren macht, wurden die Daten mittels der deskriptiven Statistik verglichen. Es zeigt sich, dass es markante Unterschiede von prädizierter und gemessener Topographie innerhalb der Daten gibt. Durch die Erstellung von Differenzbildern von Fächerecholot und ETOPO2v2 konnte festgestellt werden, dass diese in bestimmten Bereichen gehäuft auftreten. Die Kenntnis über diese Gebiete hilft bei geologisch/geophysikalischen Interpretationen. Es wurde gezeigt, dass die Wahl der Interpolationsmethode der Datensätze hierfür keine entscheidende Bedeutung hat.

Die Tauglichkeit der ETOPO2v2-Daten für submarine geomorphologische Fragestellungen wurde diskutiert. Die aus den ETOPO2v2-Daten berechneten Hangneigungen sind für die Berechnung des Sicherheitsfaktors F in der „infinite Slope“ Theorie zu ungenau.

9 Ausblick

Die Probleme bei der Interpolation der Daten konnten in dieser Arbeit nur kurz behandelt werden. Weitere Überlegungen und Vergleiche zur Ermittlung des besten Interpolationsverfahrens würden dazu beitragen, das Ergebnis in Bezug auf die Fragestellung zu verbessern. In dieser Bachelorarbeit wurden die geostatistischen Untersuchungen im Wesentlichen mit ArcGIS und SPSS durchgeführt. Es ist auch möglich, diese Art der Analyse mit dem Programm *Matlab* der Firma *MathWorks* oder *GRASS GIS* durchzuführen. Hiermit können Karten erstellt werden, in denen die Korrelationskoeffizienten graphisch dargestellt werden, so dass eine flächendeckende Interpretation der Daten ermöglicht wird. Weiterhin würde es sich anbieten, die genaueren Gravimetrie-Daten des Seegravimeters der Polarstern anstelle der auf Satellitenaltimetrie basierenden Gravimetrie zu untersuchen, um genauere Ergebnisse in Bezug auf die Abschätzung der Sedimentmächtigkeiten zu erhalten. Diese könnten dann mit den Daten des Parasound (System zur Vermessung der Sedimentmächtigkeit), die für das Untersuchungsgebiet vorliegen, verglichen werden. Eine genauere Wertung der auf Satellitenaltimetrie basierenden Gravimetrie wäre somit möglich. Auch sind nähere geomorphologische Studien in Bezug auf die Klassifizierung des Reliefs durch die Standardabweichung denkbar, die z.B. eine Beschreibung der Oberflächenbeschaffenheit eines Habitats für die Meeresbiologie ermöglicht.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit konnten einige Themen nur ansatzweise behandelt werden. Detaillierte und umfangreichere Untersuchungen würden die hier gewonnen Erkenntnisse ausbauen und für weitere wissenschaftliche Anwendungen in der Bathymetrie nutzbar machen. In einer Diplomarbeit oder Masterarbeit könnte auf diese Themen und Untersuchungsvorschläge gründlich eingegangen werden.

Quellenangaben

- BAHLBURG, H., BREITKREUZ, C. (2004): Grundlagen der Geologie, Spektrum Akademischer Verlag, 2. Auflage, München
- BAMBERGER, K. (2007): SPSS Grundlagen; Einführung anhand der Version 15, Regionales Rechenzentrum für Niedersachsen / Leibniz Universität Hannover und Rechenzentrum der Universität des Saarlandes (RRZN), 12. Auflage, Saarbrücken
- BENNETT, R.H., LAMBERT, D.N., MCGREGOR, B.A., FORDE, E.B, MERRILL, G.F. (1978): Slope map, a major submarine slide on the US atlantic continental slop east of Cape May In: GIERLOFF-EMDEN, H.G. (1980): Geographie des Meeres; Ozeane und Küsten Teil 1, Walter de Gruyter, Berlin
- BROSIUS, F. (2006): SPSS 14.; Das mitp-Standardwerk, mitp-Verlag, 1. Auflage, Heidelberg
- BROSIUS, F. (2007): SPSS für Dummies, Wiley-VCH-Verlag, 1.Auflage, Weinheim
- BRUNSDEN, D. [HRSG.] (1984): Slope instability, Wiley Verlag, Chichester
- BURDA, M., VYSKOCIL, V., HOBNER, M. (1987): Density inhomogeneities in the upper mantle of Central Europe and their gravitational effects, In: Studia Geophysica et Geodaetica Springer Netherlands 54-61 URL: <http://www.springerlink.com/content/r706437462411398/fulltext.pdf> (Zugriff: 06.07.2008)
- DIETRICH, G., KALLE, K., KRAUSS, W., SIEDLER, G. (1975): Allgemeine Meereskunde; Eine Einführung in die Ozeanographie, 3. Auflage, Berlin
- DJOMANIA; Y.H.P., O'REILLY, S.Y., GRIFFIN, W.L., MORGAN, P. (2000): The density structure of subcontinental lithosphere through time, In: Earth and Planetary Science Letters 184 (2001) S.605-621 URL: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6V61-42G6M2J-6-J&_cdi=5801&_user=97338&_orig=search&_coverDate=01%2F30%2F2001&_sk=998159996&view=c&wchp=dGLbVtz-zSkWb&md5=829f62335c6136174e46641efde34bd5&ie=/sdarticle.pdf (Zugriff: 12.06.2008)
- FALKSOHN, R., KLUSSMANN, U., MEYER, C., PUHL, J., SIMONS, S., WAGNER, W. (2008): Wettlauf zu den letzten Grenzen In: DER SPIEGEL, 23/2008, SPIEGEL-Verlag, S.108-111
- FRISCH, W., MESCHEDE, M. (2007): Plattentektonik; Kontinentverschiebung und Gebirgsbildung Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2. Auflage, Darmstadt

- FORSBERG, R., FEISSEL M., DIETRICH R. (HRSG.) (1997): Geodesy on the Move - International Association of Geodesy Symposia, Volume 119, Springer
- FLOYD, F., SABINS, J. (1986): Remote Sensing; Principles and Interpretation, W.H. FREEMAN AND COMPANY, New York, S.326
- GAUGER, S. (2002): Diplomarbeit: Aufarbeitung, Visualisierung und Analyse einer bathymetrischen Vermessung im westlichen Teil des Gakkel-Rückens, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Fachbereich Geoinformatik
- GIERLOFF-EMDEN, H.G. (1980): Geographie des Meeres; Ozeane und Küsten Teil 1, Walter de Gruyter, Berlin
- GINER-ROBLES, J.L., GONZALEZ-CASADO, J.M., GUMIEL, P., MARTIN-VELAZQUEZ, S., GARCIA-CUEVAS, C. (2003): A kinematic model of the Scotia plate (SW Atlantic Ocean) In: Journal of the American Earth Sciences 16 (2003) S. 179-191 URL: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6VDS-48XSC2B-2-11&_cdi=5990&_user=97338&_orig=search&_coverDate=08%2F31%2F2003&_sk=999839995&view=c&wchp=dGLbVtb-zSkzk&md5=c3d6c15f6d7cea2eb48d8e174956ad5d&ie=/sdarticle.pdf (Zugriff: 01.07.2008)
- HAMPTON, M.A., LEE, J.L., LOCAT, J. (1996): Submarine Landslides. Reviews of Geophysics, 34(1), S.33-59 URL: <http://www.agu.org/journals/rg/rg9601/95RG03287/95RG03287.pdf> (Zugriff: 06.06.2008)
- IDM COMPUTER SOLUTIONS, INC.(2008): URL: www.ultraedit.com (Zugriff: 10.06.2008)
- ISAAKS, E.H., SRIVASTAVA, R.M (1989): Applied Geostatistics, Oxford University Press, New York
- JACOBSHAGEN, V., ARNDT, J., GÖTZE, H.J., MERTMANN, D., WALLFASS, C.M. (2000): Einführung in die geologischen Wissenschaften, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- JAKOBSSON, M., MACNAB, R., MAYER, L., ANDERSON, R., EDWARDS, M., HATZKY, J., SCHENKE, H.W., JOHNSON, P. (2008): An improved bathymetric portrayal of the Arctic Ocean: Implications for ocean modeling and geological, geophysical and oceanographic analyses In: GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 35 URL: http://www.ibcao.org/IBCAO_GRL_2008.pdf (Zugriff: 11.06.2008)
- JORDEN, A. (2002): Diplomarbeit; Statistische Analyse der andinen Topographie zwischen 35° und 42° Süd, Diplomarbeit an dem Geographischen Institut und dem Institut für Geologie, Geophysik und Geoinformatik der Freien Universität Berlin, S.

- LIVERMORE, R., MCADOO, D., MARKS, K. (1994): Scotia Sea tectonics from High-resolution satellite gravity In: Earth and Planetary Science Letters 123, Seite 255-268 URL:
http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiImageURL&_imagekey=B6V61-46YCVHP-18-1&_cdi=5801&_user=97338&_check=y&_orig=search&_coverDate=05%2F31%2F1994&view=c&wchp=dGLbVtb-zSkWb&md5=14a0b0071d45747e901aa367032d6eca&ie=/sdarticle.pdf
 (Zugriff: 06.06.2008)
- MARKS, K.M., SMITH, W.H.F: (2006): An Evaluation of Publicly Available Global Bathymetry Grids In: Marine Geophysical Researches , Springer Netherlands, S. 19-34 URL: <http://www.springerlink.com/content/w86v85v5u66g3841/fulltext.pdf>
 (Zugriff: 01.06.2008)
- MAYER, L (2005): Satellite altimetry In: WILLE, P.C. (2005): Sounds Images of the Ocean; in Research and Monitoring, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, S.65
- MCADOO, B.G., WATTS, P. (2003): Tsunami hazard from submarine landslides on the Oregon continental slope, in Marine Geology 203 (2004) 235-245 URL:
http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIImage&_imagekey=B6V6M-4B500C3-5-C&_cdi=5818&_user=97338&_orig=search&_coverDate=01%2F30%2F2004&_sk=997969996&view=c&wchp=dGLbVIW-zSkWA&md5=eb6d04f37f3c53f73fa4bd48c62b015b&ie=/sdarticle.pdf
 (Zugriff: 12.06.2008)
- MCADOO, B.G. (2008): Marine Geoid, Gravity and Bathymetry: An increasingly clear view with satellite altimetry URL:
http://earth.esa.int/workshops/venice06/participants/1322/paper_1322_mcadoo.pdf
 (Zugriff: 05.07.2008)
- MACKENZIE, D. (1997): Ocean Floor Is Laid Bare by New Satellite Data URL:
<http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/sci;277/5334/1921?maxtoshow=&HITS=10&hits=10&RESULTFORMAT=&fulltext=bathymetry&searchid=1&FIRSTINDEX=0&resourcetype=HWCIT> (Zugriff: 08.06.2008)
- MACNAB, R. (2007): Marine Scientific Expeditions during IPY: Opportunities for Upgrading Bathymetric Maps of the Arctic and Southern Oceans URL:
http://www.ibcso.org/index_files/Macnab_IPY.pdf (Zugriff: 10.07.2008)
- NATIONAL GEOPHYSICAL DATA CENTER (2008a): URL:
<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/01mgg04.html> (Zugriff: 15.07.2008)

NATIONAL GEOPHYSICAL DATA CENTER (2008b): URL:

<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/06mgg01.html> (Zugriff: 16.07.2008)

NATIONAL GEOPHYSICAL DATA CENTER (2008c): URL:

<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/geodas/geodas.html> (Zugriff: 15.07.2008)

OTT, N., SCHENKE, H.W. (2007), GIS based data compilation of the new International Bathymetric Chart of the Southern Ocean (IBCSO), In Antarctica: A keystone in a Changing World – Online Proceedings of the 10th ISAES X

URL: <http://pubs.usgs.gov/of/2007/1047/ea/of2007-1047ea023.pdf> (Zugriff: 06.06.2008)

PRESS, F., SIEVER, R. (2003): Allgemeine Geologie; Einführung in das System Erde, Spektrum Akademischer Verlag, 3. Auflage, Heidelberg

SANDWELL, D.T., SMITH, W.H.F. (1997): Marine gravity anomaly from Geosat and ERS satellite altimetry, In: Journal of Geophysical Research, Vol.102, No B5, S.10039-10054 URL: <http://topex.ucsd.edu/sandwell/publications/71.pdf> (Zugriff: 06.06.2008)

SANDWELL, D.T., SMITH, W.H.F. (2008.): Exploring the ocean basins with satellite altimeter data URL:

http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/predicted/explore.HTML#sat_alt
(Zugriff: 06.06.2008)

SANDWELL, D.T., SMITH, W.H.F., GRILLE, S., JAYNE, S., SOOFI, K., COAKLEY, B. (2001) Bathymetry from Space; White paper in support of a high-resolution, ocean altimeter mission URL: http://topex.ucsd.edu/marine_grav/mar_grav.html
(Zugriff: 06.06.2008)

SCHENKE H.W. (2005a): Foreword IN WILLE, P.C. (2005): Sounds Images of the Ocean; in Research and Monitoring, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, S.(Vorwort)

SCHENKE, H.W. (2005b): FS POLARSTERN ANT XXII/4 In: Expeditionsprogramm Nr. 72, FS POLARSTERNANT XXII/3-5 URL:

http://www.awi.de/fileadmin/user_upload/Research/Research_Divisions/Climate_Sciences/chiaventone/Polarstern/FahrtheftANTXXII3-5.pdf (Zugriff: 28.06.2008)

SCHENKE, H.W., UDINTSEV, G.B. (2006): Undersea Geophysical Research Near the Earth's South Pole In: Herald of the Russian Academy of Sciences 2006, Vol.76, Nr. 6 , S.549-563 URL:

<http://www.springerlink.com/content/w514m4834k0671m5/fulltext.pdf> (Zugriff: 29.05.2008)

SCHENKE, H.W., ZENK, W. (2006): Berichte zur Polar- und Meeresforschung 537:2006; The Expeditions ANTARKTIS-XXII/4 and 5 of the Research Vessel „Polarstern“ in 2005, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven

- SCHENKE, H.W. (2008): Wissenschaftliche Sonarsysteme zur Ortung und Meereserkundung In: FÜTTERER, D.K., FAHRBACH, E. (2008): POLARSTERN; 25 Jahre Forschung in Arktis und Antarktis, Delius Klasing Verlag, 1. Auflage, Bielefeld
- SCRIPPS INSTITUTE OF OCEANOGRAPHY 2008 URL:
ftp://topex.ucsd.edu/pub/global_grav_1min/README.16.1 (Zugriff: 20.06.2008)
- STANGE, K (1975): Kontrollkarten für messbare Merkmale, Springer Verlag, Berlin, S.1
- SPSS GMBH SOFTWARE (1993) SPSS für Windows; Anwenderhandbuch für das Basis System, München
- SPSS GMBH SOFTWARE (2008): URL: <http://www.spss.com/de/corpinfo/index.htm>
(Zugriff: 22.06.2008)
- TRAUTH, M.H. (2005): MATLAB; Recipes for Earth Sciences, Springer Verlag, Berlin, S.154
- WEIGELT, E. (1998): Die Krustenstruktur und Sedimentdecke des Eurasischen Beckens, Arktischer Ozean; Resultate aus seismischen und gravimetrischen Untersuchungen In: Berichte zur Polarforschung 261, S 127 ff
- WICHMANN, H. (2005): ArcGIS 9; das Buch für Einsteiger, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, S. 2
- WILLE, P.C. (2005): Sounds Images of the Ocean; in Research and Monitoring, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, S.64

Anhang A

Verwendete Software:

ArcGIS Desktop 9.2 Service Pack 3: Dieses Softwarepaket ist ein leistungsfähiges Geoinformationssystem von aufeinander abgestimmten GIS-Produkten (WICHMANN 2005), welches erlaubt, räumliche Punkt-, Vektor- und Rasterdaten zu bearbeiten, zu verwalten und zu analysieren. Das Programm arbeitet mit so genannten Layern, womit unterschiedliche raumbezogene Daten übereinander gelegt werden und entsprechend als Karte visualisiert werden können.

GEODAS – Grid Translator 5.0.11: Mit dem GEODAS (GEOphysical DAta System) - Grid Translator vom *National Geophysical Data Center* (NGDC) können bathymetrische und topographische Grid-Dateien benutzerspezifisch auf die geographischen Größen des Gebiets, unterschiedliche Raster Formate und die Zellgröße angepasst werden (NATIONAL GEOPHYSICAL DATA CENTER 2008c). Das Programm stellt der NGDC als Freeware im Internet bereit.

UltraEdit®-32 - v14.00: Dieses Programm ist ein leistungsfähiges Texteditierprogramm, mit dem im Gegensatz zum standardmäßigen Windows-Editor auch sehr große Dateien bearbeitet werden können. Neben vielen weiteren Funktionen bietet das Programm auch die „Suchen und Ersetzen“ Funktion (IDM COMPUTER SOLUTIONS, INC., 2008). Es wurde eine zeitlich limitierte Probeversion verwendet, welche Ultraedit kostenlos im Internet bereitstellt.

SPSS V15.0: SPSS ist ein umfangreiches und weltweit führendes Statistikprogramm und gehört zur gleichnamigen Firma SPSS (SPSS GMBH SOFTWARE 2008). Die hier verwendete Version 15.0 arbeitet unter Windows auf einer graphischen Oberfläche und ist daher fensterorientiert. Mit Hilfe dieses Programmes können statistische sowie analytische Operationen computergestützt durchgeführt werden und auch graphisch dargestellt werden (BAMBERGER 2007:31).

Mircosoft®Excel 2002 SP3: Dieses Programm ist Teil des Microsoft-Office-Pakets und dient im Wesentlichen der Durchführung von Tabellenkalkulationen. Das Programm wurde hier zur Erstellung eines Rasterbildes benutzt (Kapitel 5.2.1).

Anhang B

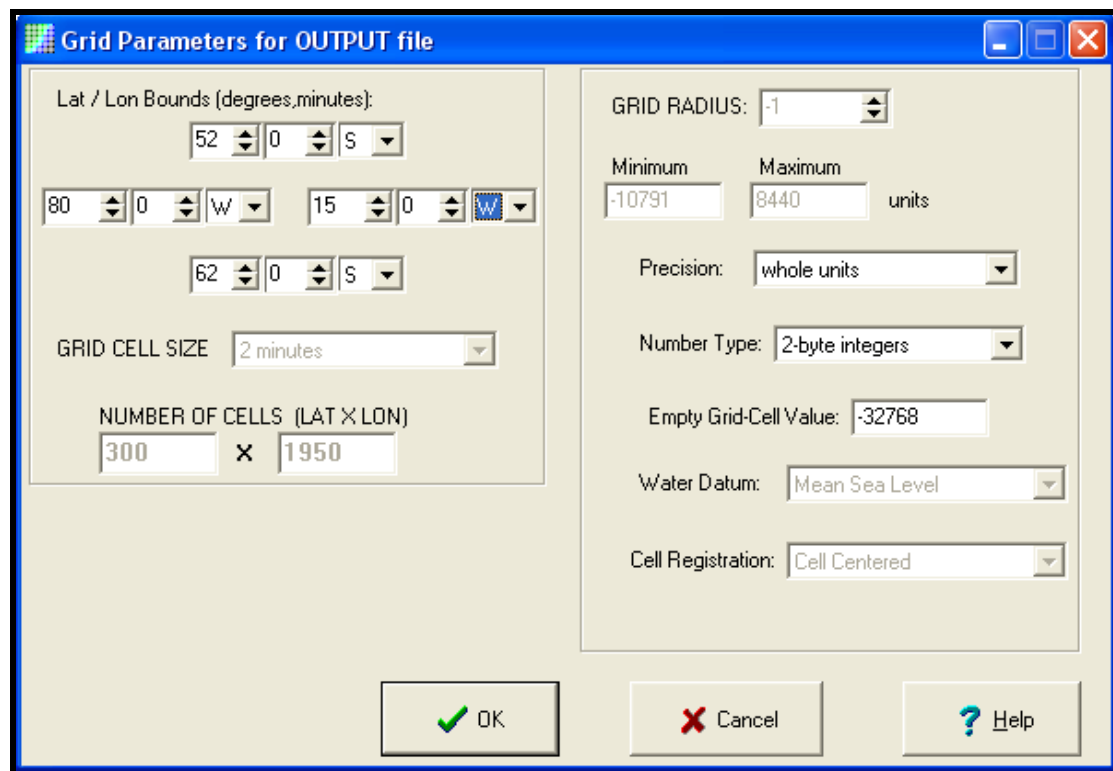


Abb.23 Grid Parameters des GEODAS Grid-Translators

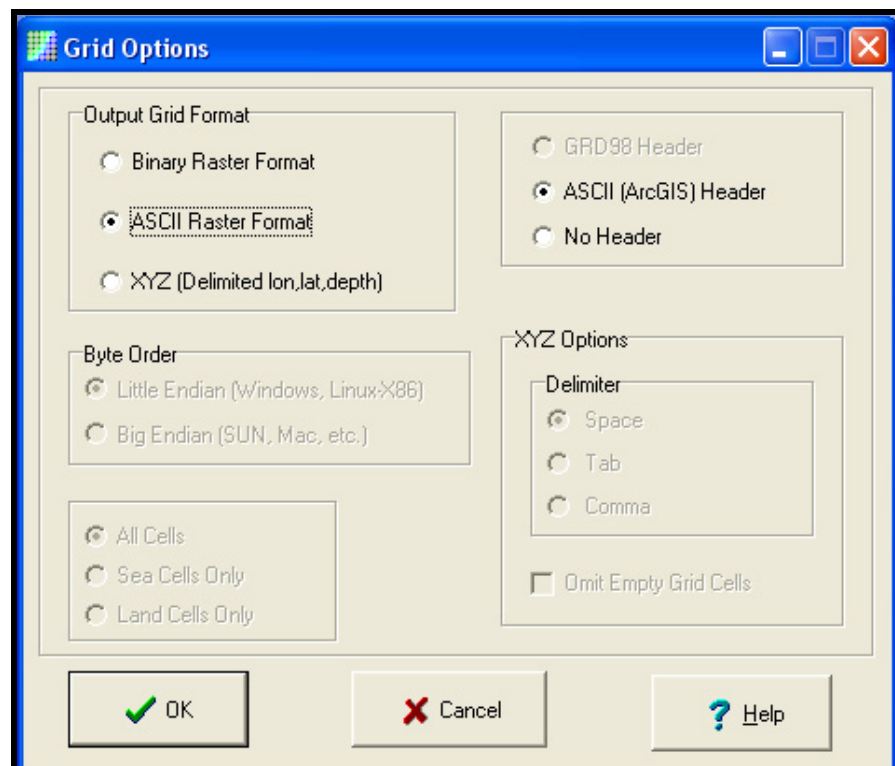


Abb.24 Grid Options des GEODAS Grid-Translators

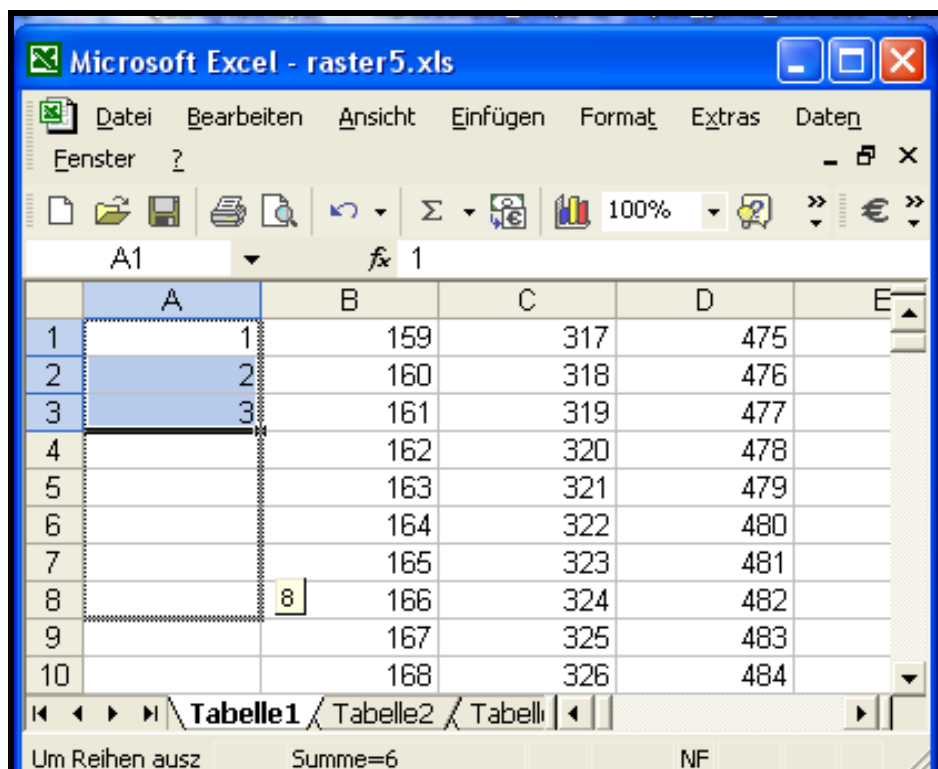


Abb.25 Datenreihe auffüllen in Excel;

Dargestellt ist die Erzeugung der z-Werte des Raster „Maske“ in Excel.

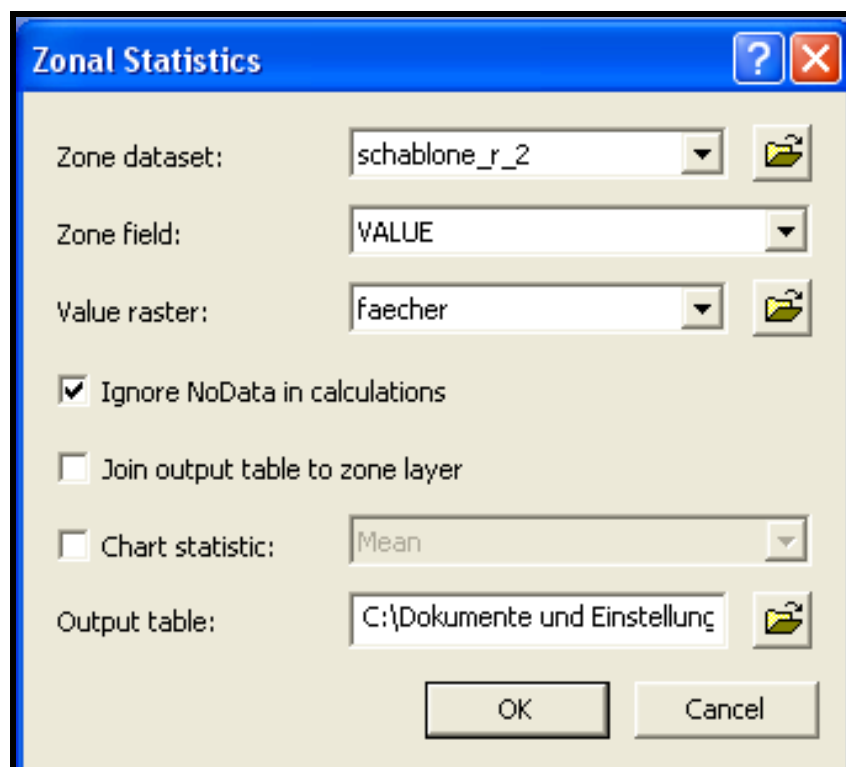


Abb.26 Zonal Statistics

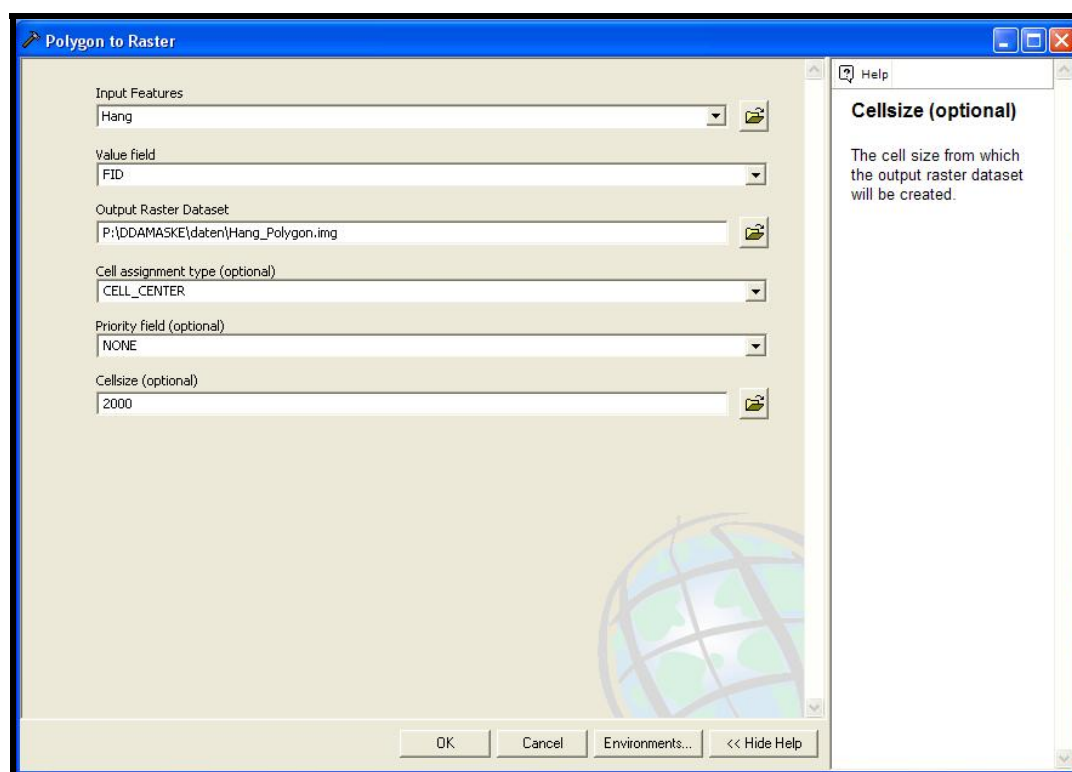


Abb.27 Polygon to Raster

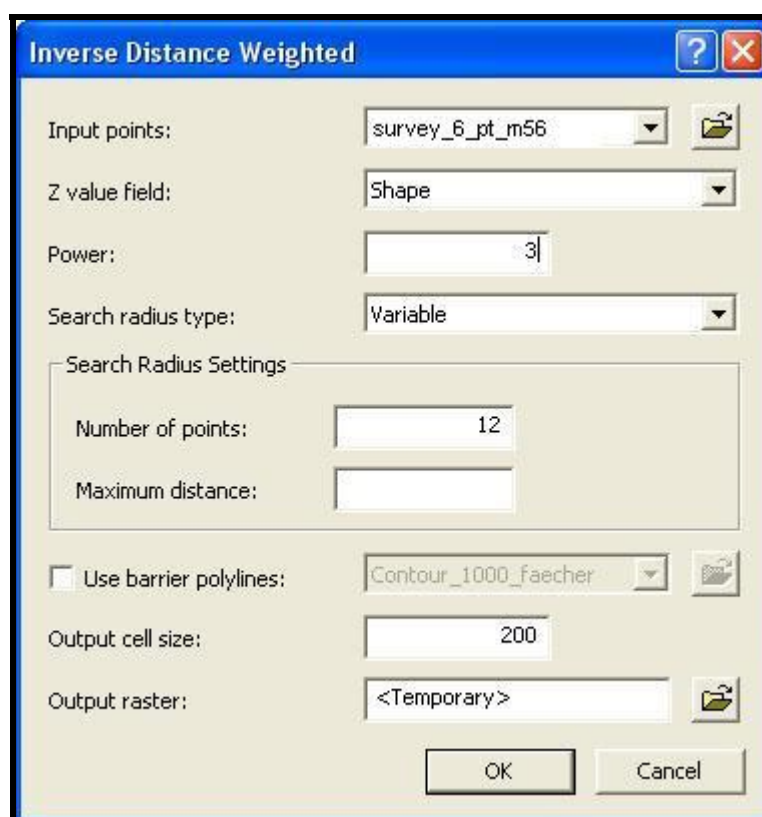


Abb.28 Inverse Distance Weighted

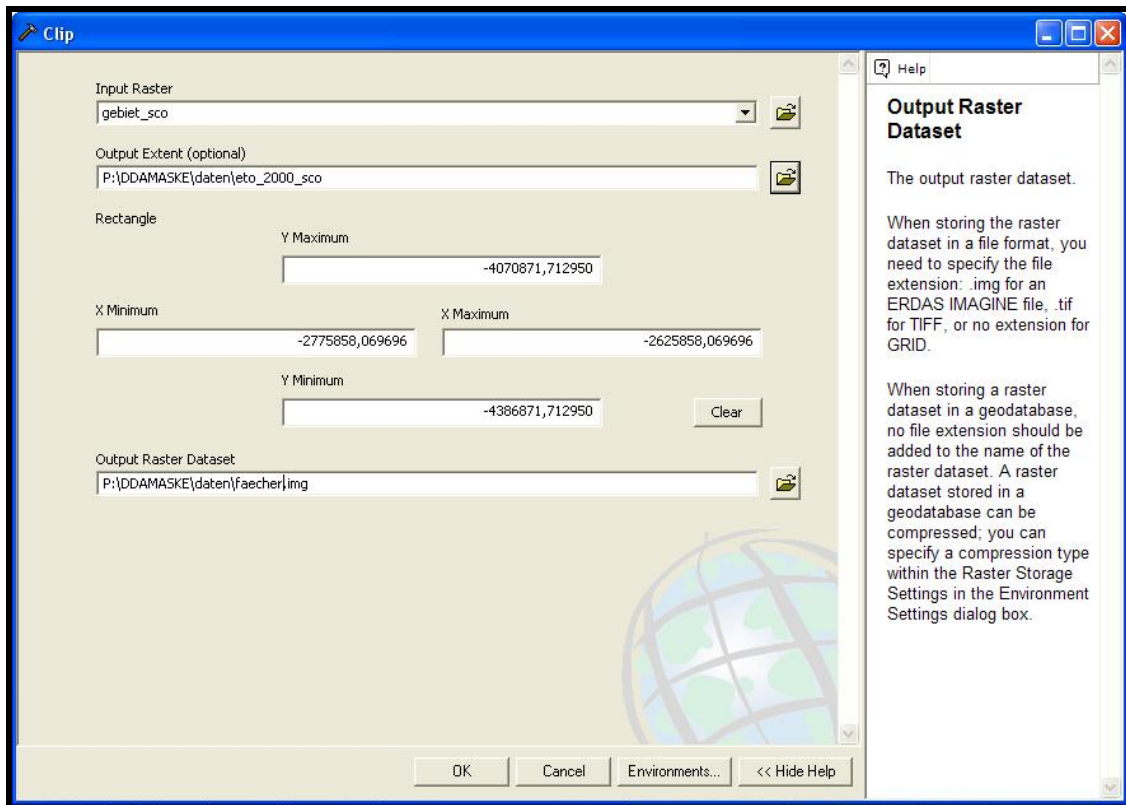


Abb.29 Clip

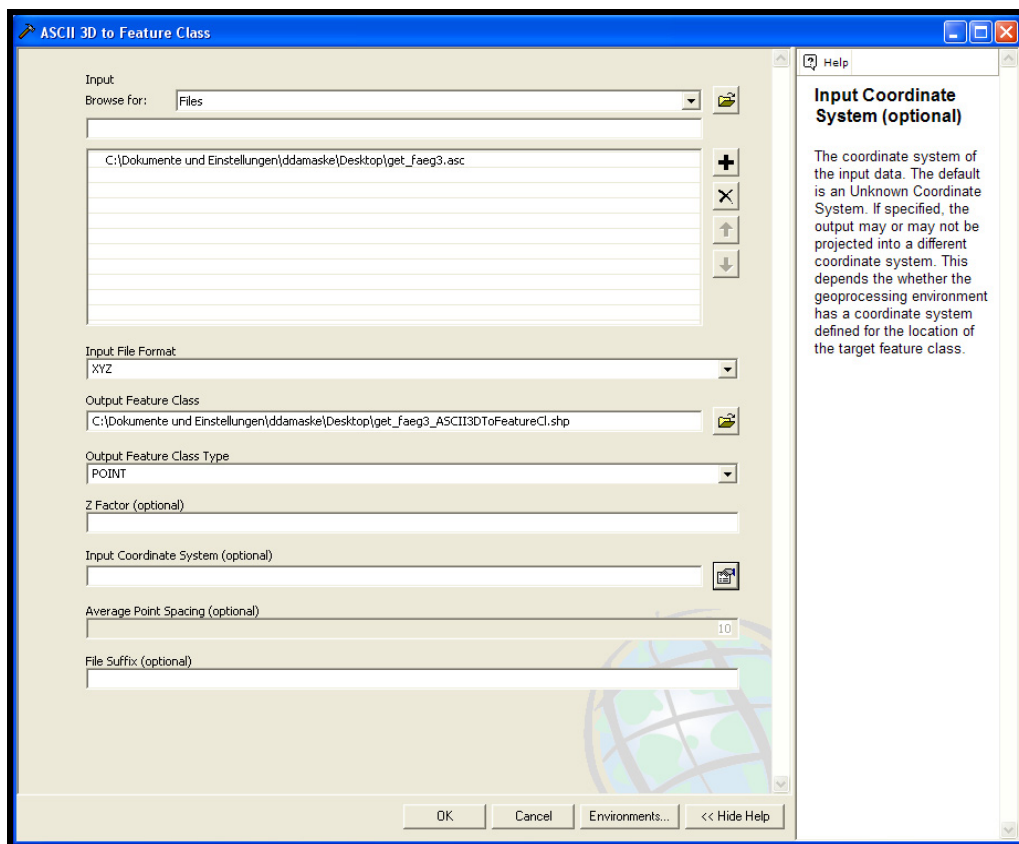


Abb.30 ASCII 3D to Feature Class

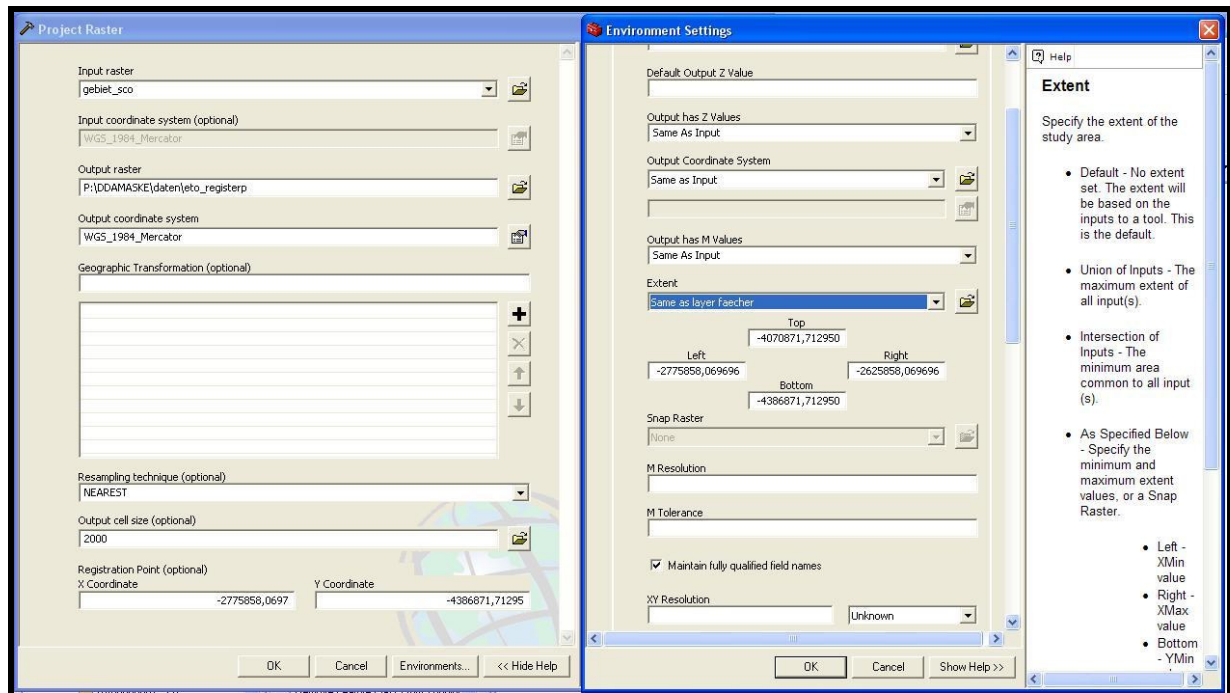


Abb.31 Project Raster und Environment Settings

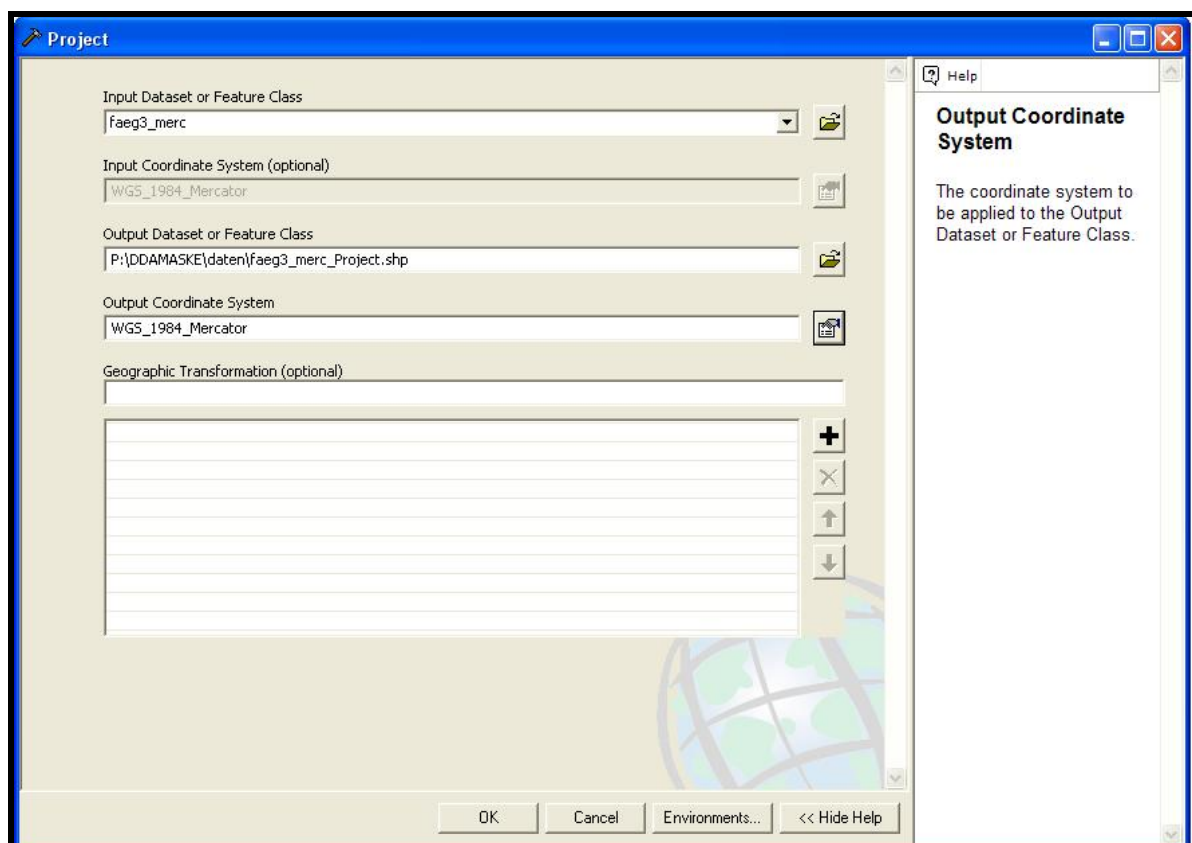


Abb.32 Project

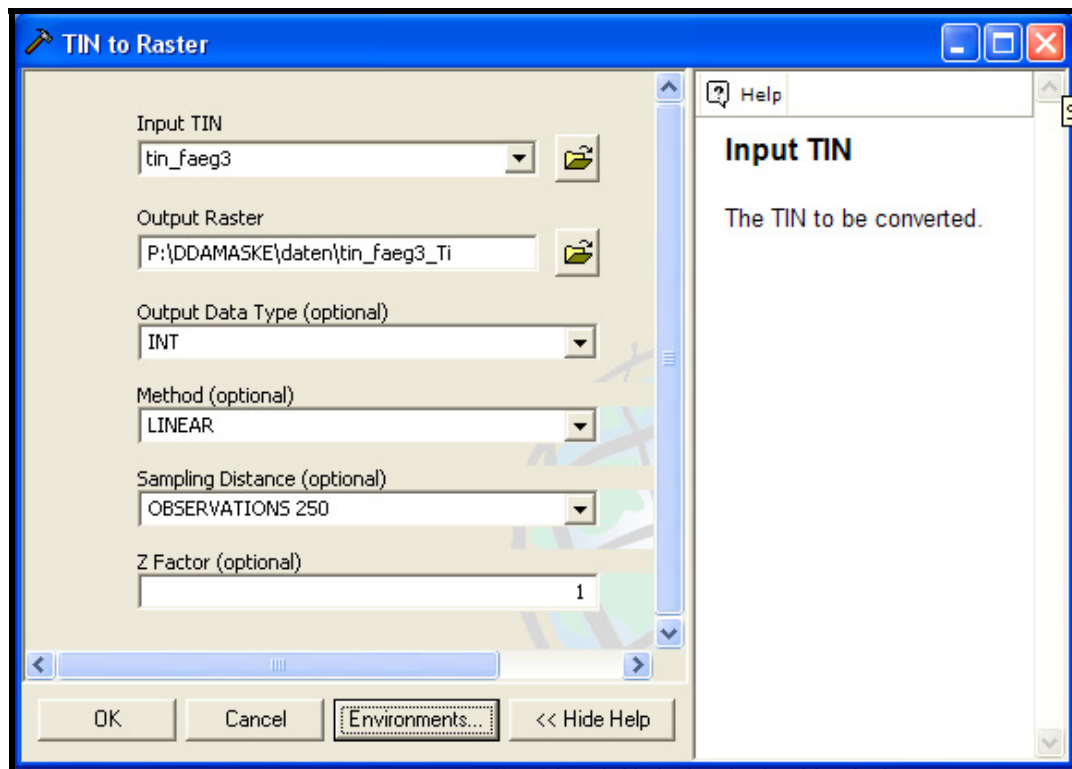


Abb.33 TIN to Raster

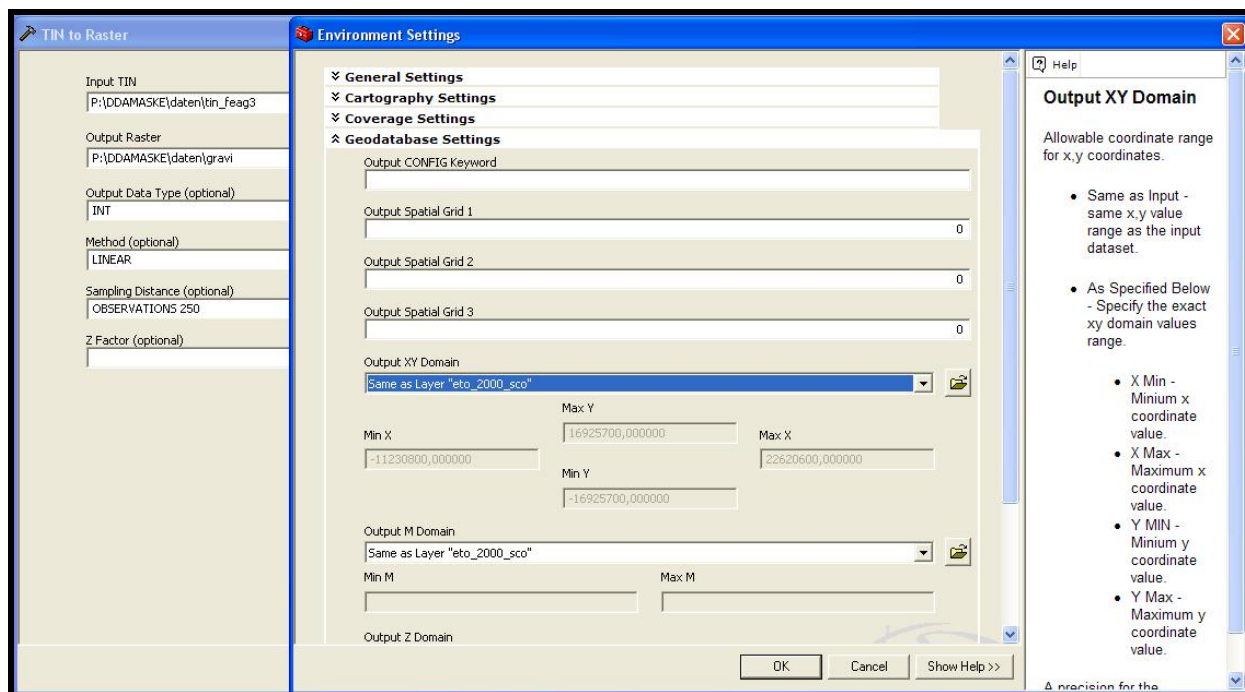


Abb.34 TIN to Raster und Enviroment Settings

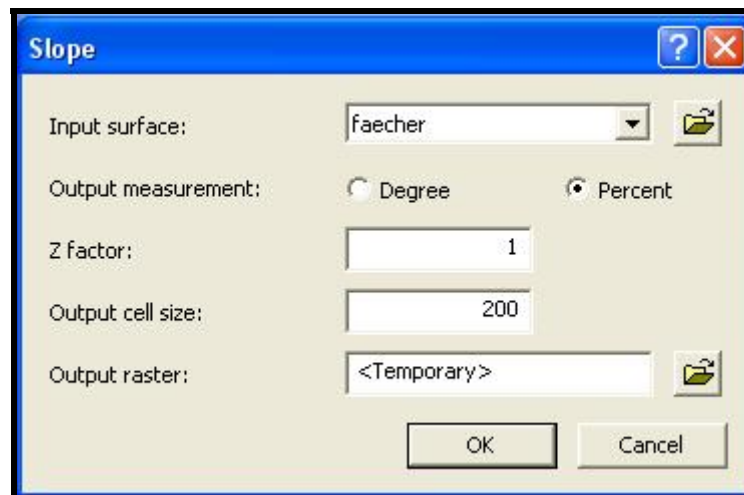


Abb.35 Slope

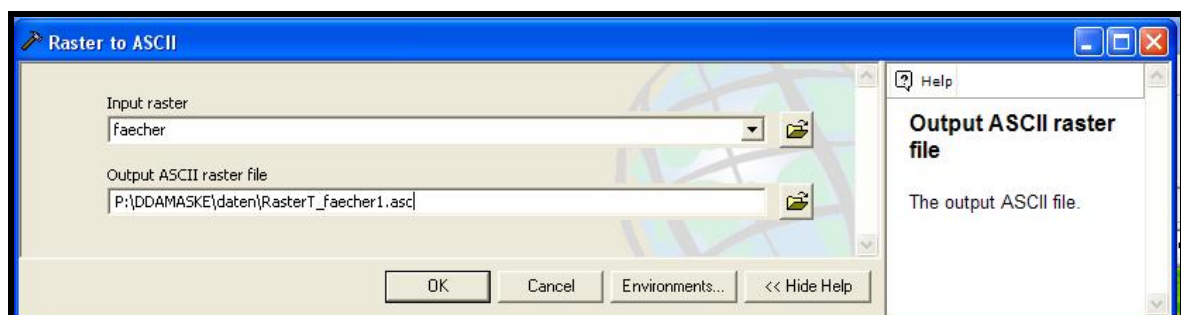


Abb.36 Raster to ASCII

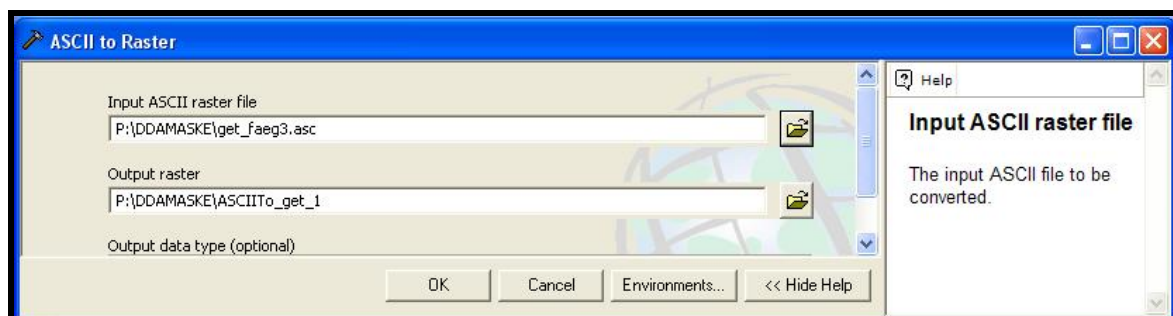


Abb.37 ASCII to Raster

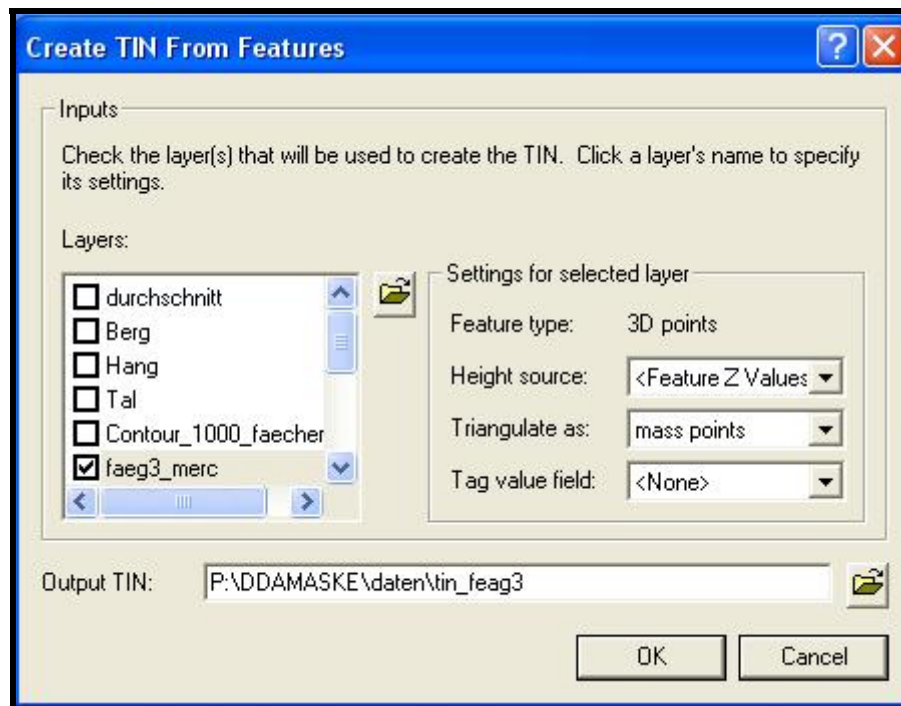


Abb.38 Create TIN From Feature

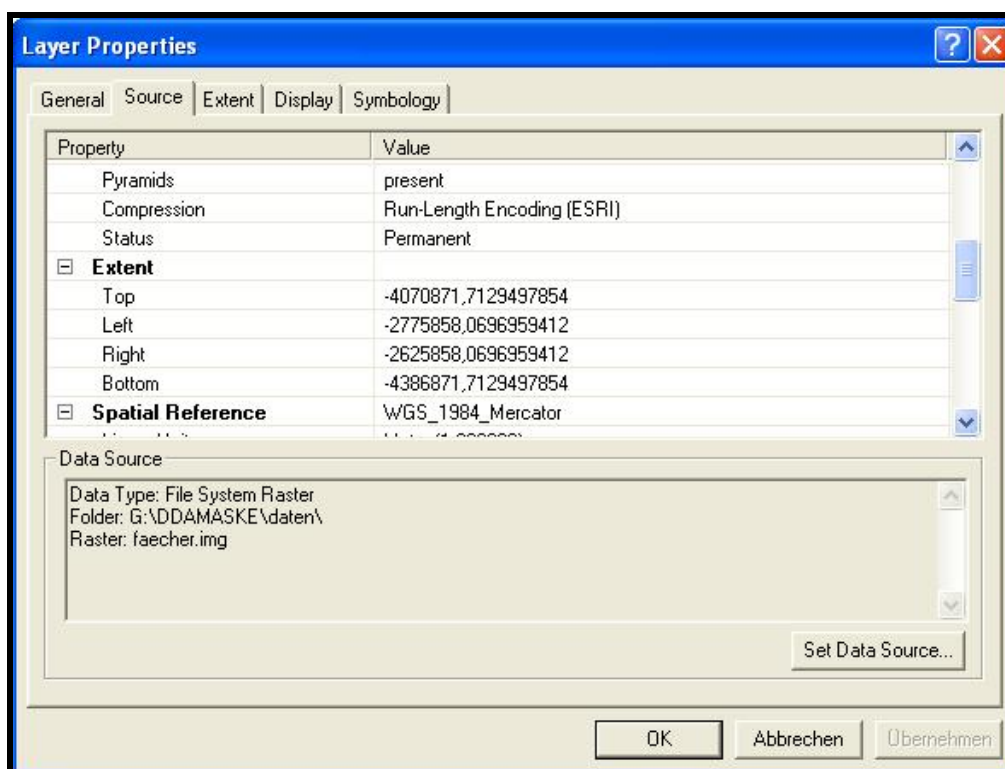


Abb.39 Properties und Registerpoints

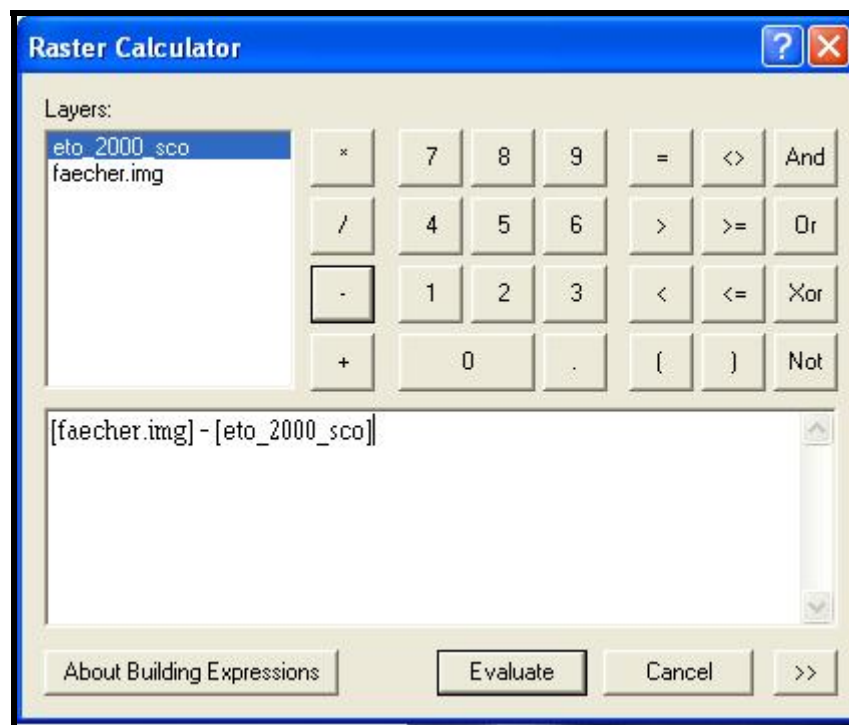


Abb.40 Raster Calculator

Anhang C

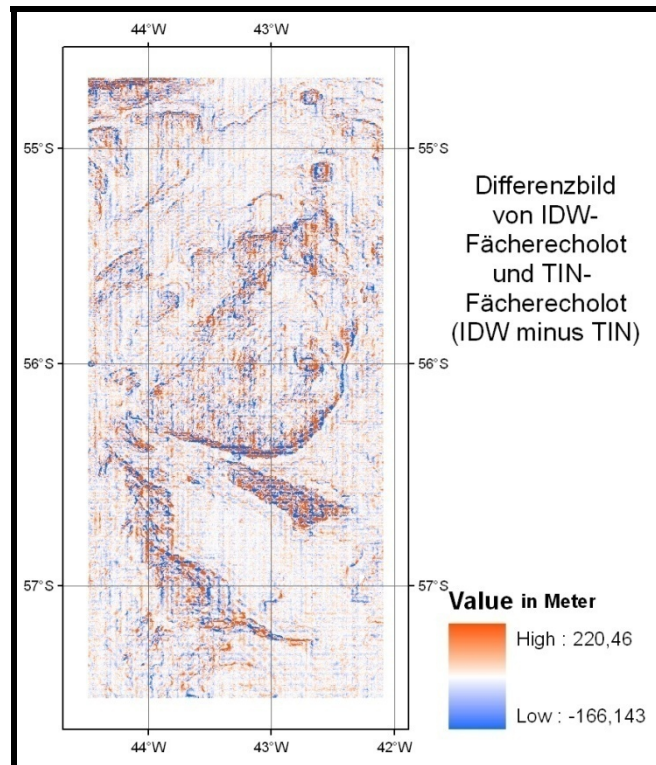


Abb.41 Differenzbild IDW-Fächerecholot minus TIN Fächerecholot

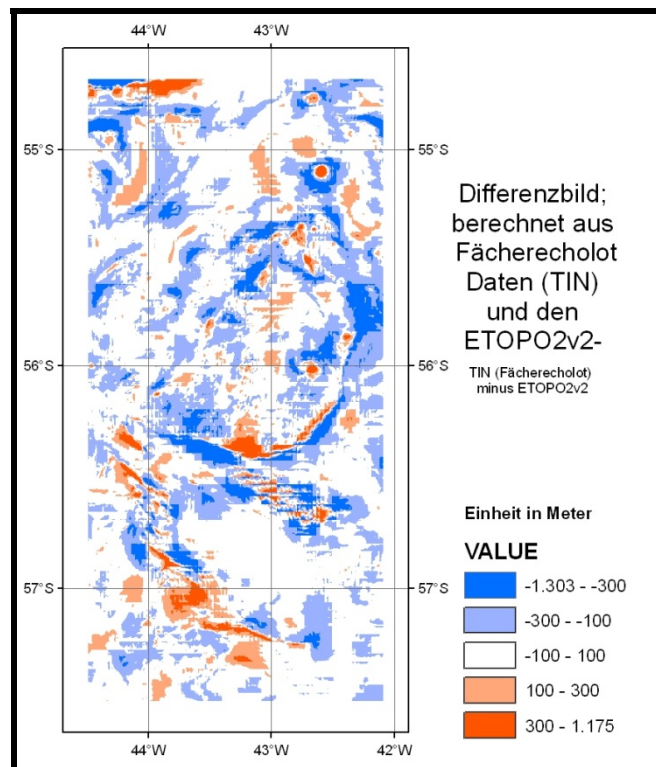


Abb.42 Differenzbild TIN Fächerecholot minus ETOPO2v2

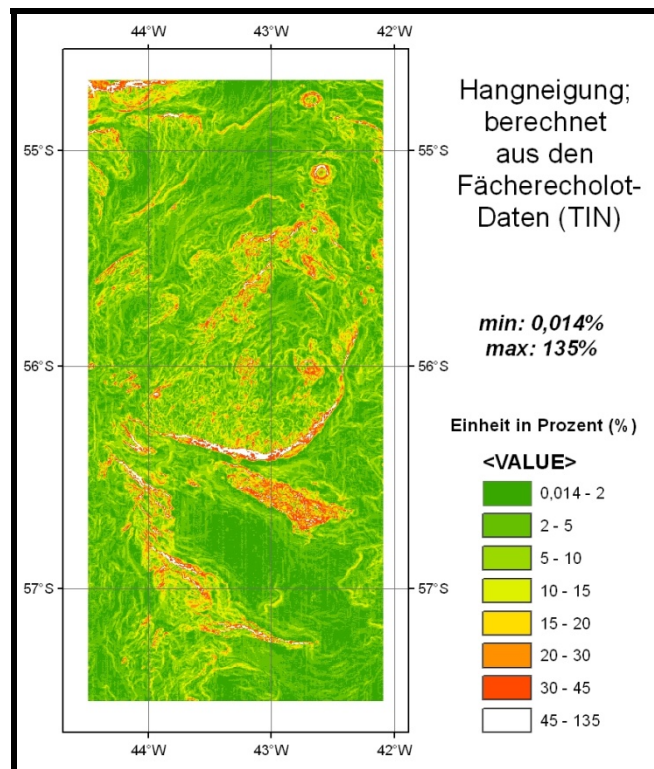


Abb.43 Hangneigung Fächerecholot TIN

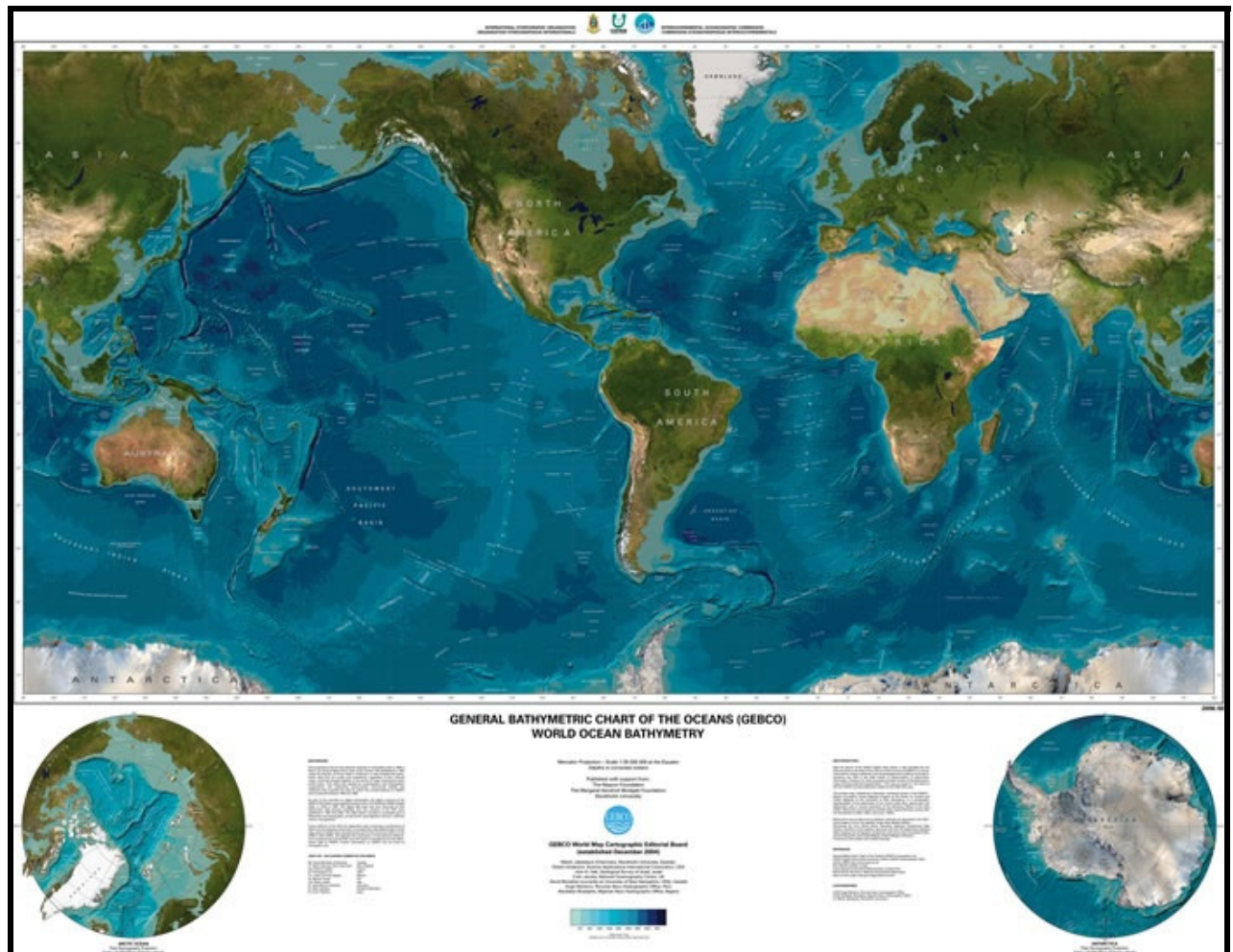


Abb.44 General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)

(URL:http://www.gebco.net/data_and_products/gebco_world_map/International)

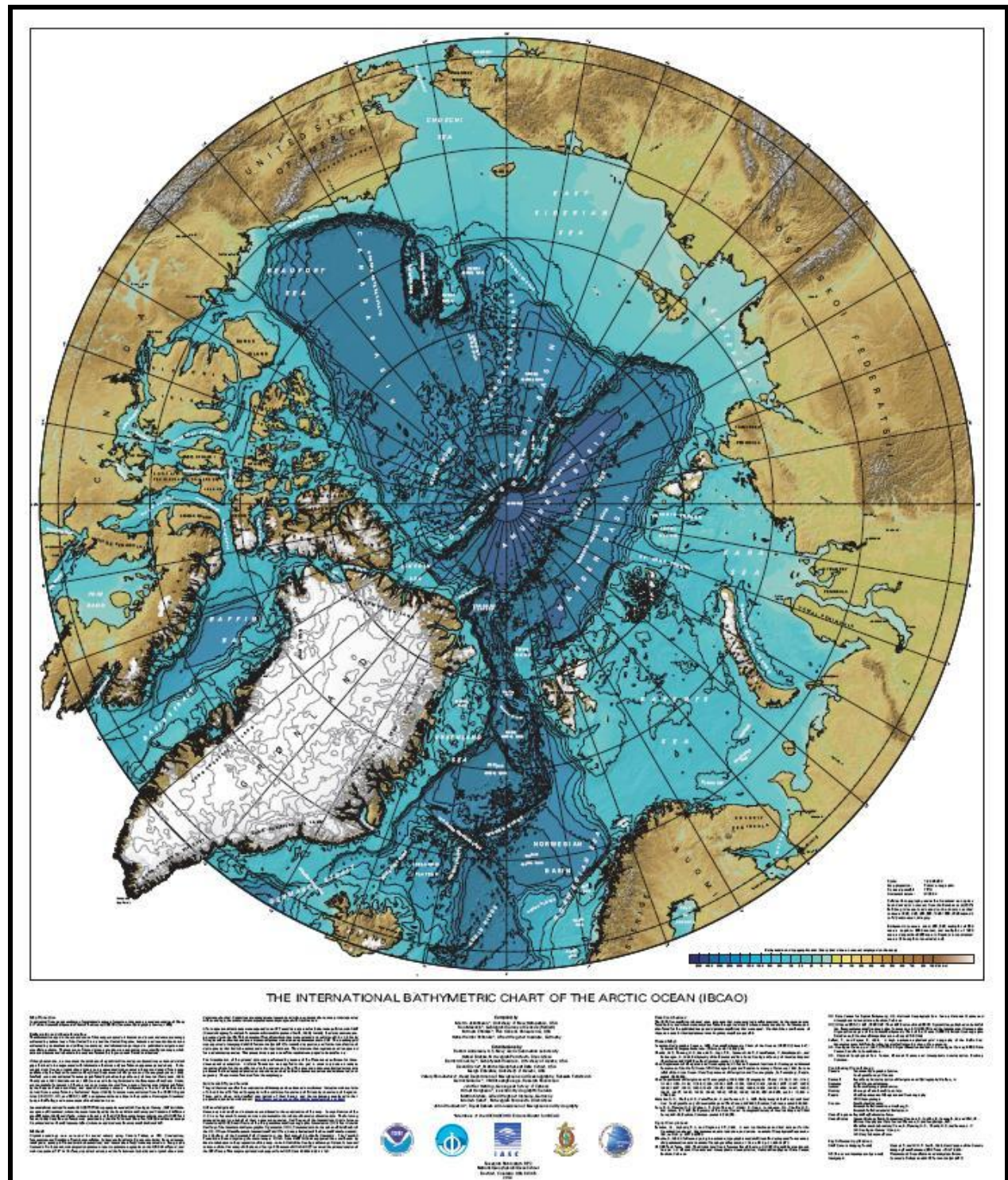


Abb.45 International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO)

(URL: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/04mgg03.html>)

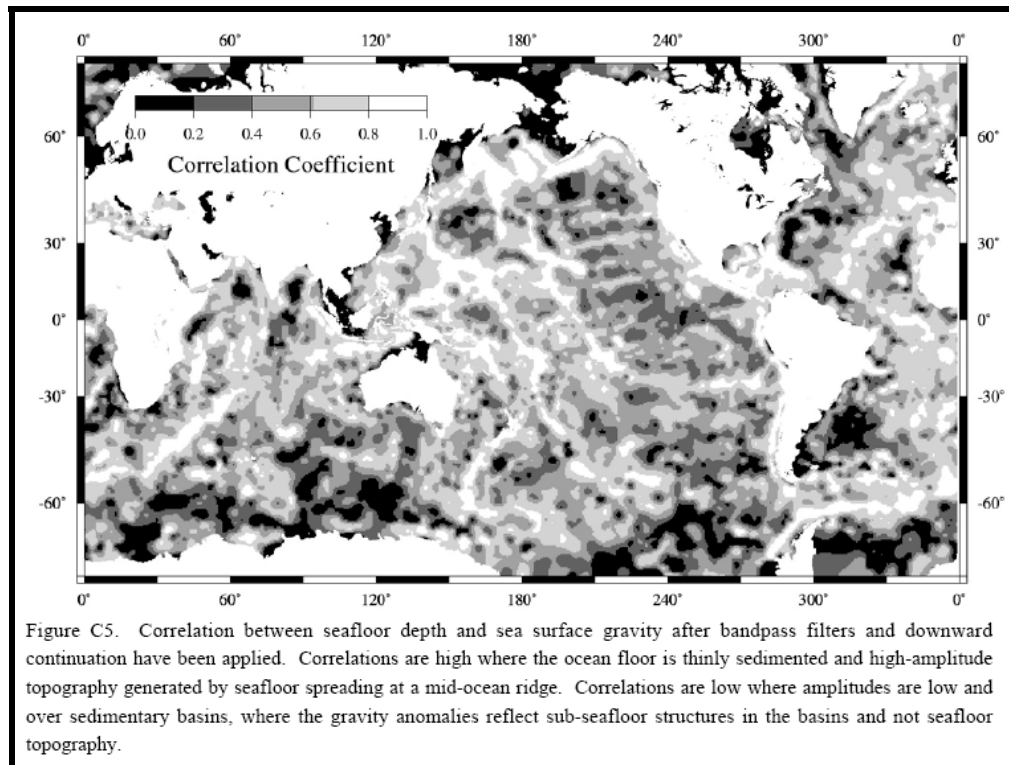


Abb.46 Korrelation zwischen Meeresbodentiefe und Gravimetrie nach Sandwell&Smith;
In: SANDWELL ET AL. 2001:41

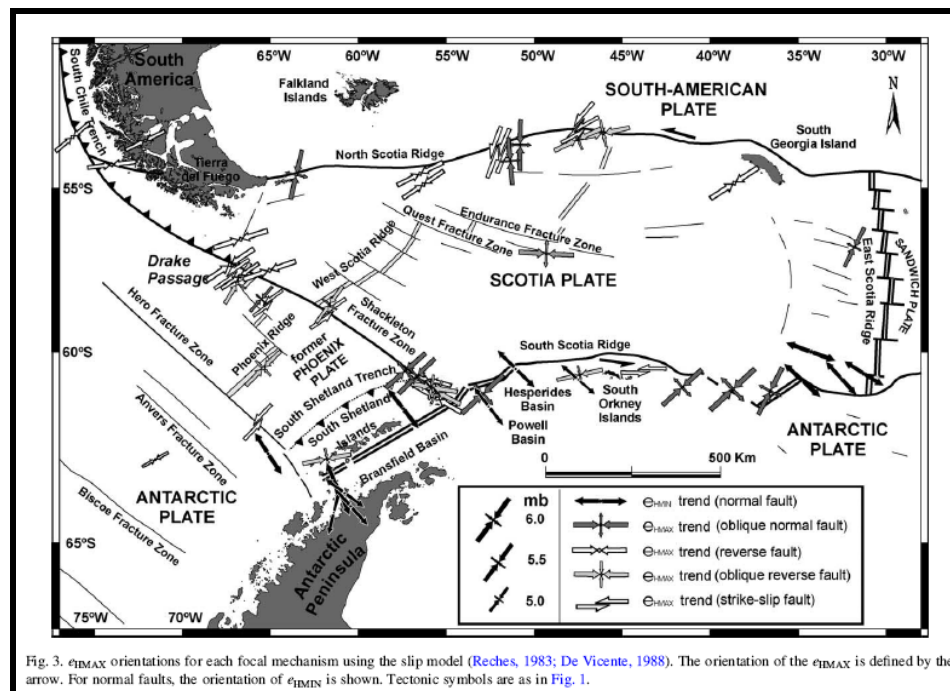


Abb.47 Tektonische Karte des Scotia Meeres;
In: GINER-ROBLES 2003:180

Glossar

AWI:	Alfred-Wegener-Institut
BODC:	British Oceanographic Data Centre
ETOPO2v2:	2-Minute Gridded Global Relief Data
GEBCO:	General Bathymetric Chart of the Oceans
GEODAS:	GEOphysical DATA System
GDA:	GEBCO Digital Atlas
GLOBE:	Global Land One-kilometer Base Elevation
IBCAO:	International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean
IBCSO:	International Bathymetric Chart of the Southern Ocean
IDW:	Inverse Distance Weighting
IHO:	International Hydrographic Organization
IOC:	Intergovernmental Oceanographic Commission
MOR:	Mittelozeanischer Rücken
NGDC:	National Geophysical Data Center
SCUFN:	GEBCO Sub-Committee on Undersea Feature Names
TIN:	Triangulation irregular network
UCSD:	University of California, San Diego
USGS:	United States Geological Survey

Erklärung zur Bachelorarbeit

Ich versichere, dass ich die Bachelorarbeit mit dem Titel „*Vergleichende geostatistische Analyse von ETOPO2v2-, Gravimetrie-, und Fächerecholot-Daten für Fragestellungen zur Bathymetrie und submarine Geomorphologie am Beispiel des Scotia Meeres*“ selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken als solche kenntlich gemacht habe. Die Bachelorarbeit habe ich bisher keinem anderen Prüfungsamt in gleicher oder vergleichbarer Form vorgelegt. Sie wurde bisher auch nicht veröffentlicht.

Ort, Datum

Unterschrift